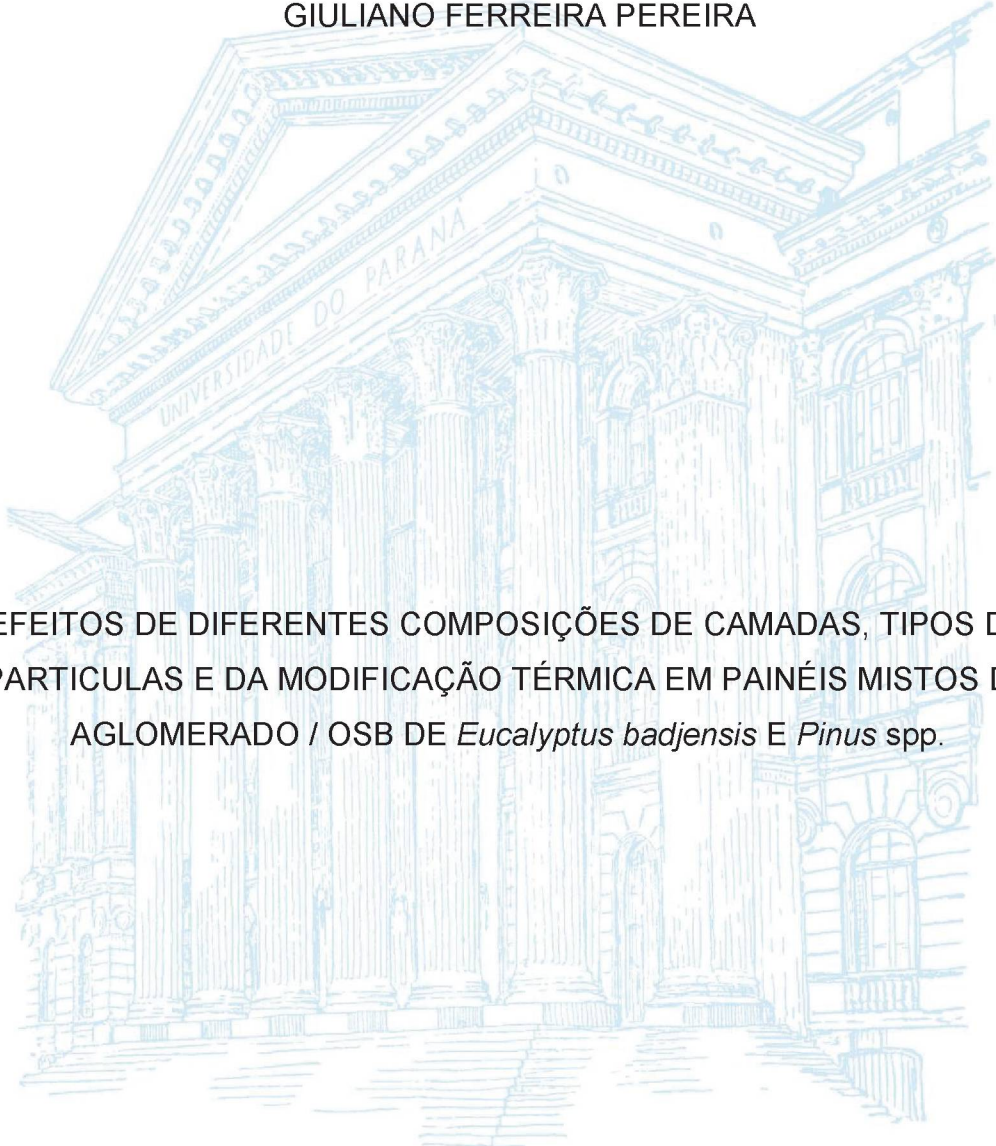


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIULIANO FERREIRA PEREIRA



EFEITOS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS, TIPOS DE PARTICULAS E DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM PAINÉIS MISTOS DE AGLOMERADO / OSB DE *Eucalyptus badjensis* E *Pinus* spp.

CURITIBA

2020

GIULIANO FERREIRA PEREIRA

EFEITOS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS, TIPOS DE
PARTICULAS E DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM PAINÉIS MISTOS DE
AGLOMERADO / OSB DE *Eucalyptus badjensis* E *Pinus* spp.

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do
grau de Doutor em Engenharia Florestal, no Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de
Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Co-orientadora: Prof. Dra. Rosilani Trianoski
Co-orientadora: Prof. Dra. Polliana D'angelo Rios

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira – UFPR

Pereira, Giuliano Ferreira

Efeitos de diferentes composições de camadas, tipos de partículas e da modificação térmica em painéis mistos de Aglomerado / OSB de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus spp.* / Giuliano Ferreira Pereira. - Curitiba, 2020.

156 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Coorientadoras: Profa. Dra. Rosilani Trianoski

Profa. Dra. Polliana D'Angelo Rios

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 05/06/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Painéis de madeira. 2. Madeira – Propriedades térmicas. 3. Madeira aglomerada. 4. Teses. I. Iwakiri, Setsuo. II. Trianoski, Rosilani. III. Rios, Polliana D'Angelo. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.832.2

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015PO

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de GIULIANO FERREIRA PEREIRA intitulada: Efeitos de diferentes composições de camadas, tipos de partículas e da modificação térmica em painéis mistos de aglomerado I OSB de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp., sob orientação do Prof. Dr. SETSUO IWAKIRI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela aprovação sua no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 05 de Junho de 2020.



SETSUO IWAKIRI
Presidente da Banca Examinadora



ADAUTO JOSÉ MIRANDA DE LIMA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)



CARLOS FREDERICO ALICE PARCHEN
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



ROSILANI TRIANOSKI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



JOSE GUILHERME PRATA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico com carinho e gratidão a
Cleiton Ferreira Meirelles (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me possibilitar alcançar mais uma etapa da minha vida, pela saúde e perseverança em buscar meus objetivos.

À minha mãe Maria de Fátima, por todo apoio e dedicação que tornaram possível a realização desse trabalho.

A todos meus familiares, em especial minha irmã Francielle.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de aprofundar meus estudos em Tecnologia da madeira.

Ao professor Dr. Setsuo Iwakiri, pela excelente orientação durante o doutorado, por todo o auxílio, dicas e ensinamentos, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

À professora Dr. Rosilani Trianoski, pela co-orientação, todos os ensinamentos e a constante disponibilidade em contribuir para a realização deste trabalho.

À professora Dr. Polliana D'angelo Rios, pela co-orientação, todos os ensinamentos e o auxílio na obtenção de material.

Aos meus colegas de pós-graduação, em especial, Eraldo, Narciso, Renan, Thiago, Talitha, Josi, Vinicius, Angela e Helena por todo companheirismo e pelos ótimos momentos compartilhados.

Aos funcionários da Universidade, em especial Ademir, Letícia e Mauro, pelo auxílio na realização desta da pesquisa.

À empresa Klabin, em especial, a Regiane Abjaud Estopa, pelo fornecimento da madeira de *Eucalyptus badjensis* utilizada nesta pesquisa.

À empresa GPC, pela doação do adesivo utilizado na condução do experimento.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima; Prof. Dr. Carlos Augusto Parchen; Prof. Dr. José Guilherme Prata; Prof. Dra. Marina Mieko Nishidate Kumode, pela disponibilidade e contribuições para a melhoria deste trabalho.

Aos docentes do DETF da UFPR pelas disciplinas ministradas e pelo auxílio direto e indireto neste trabalho.

Aos meus amigos Rafael M, Maicon, Luis Fernando, Willian, Dezio, Paulo Ricardo, Juliano, Matheus, Rafael V, Gabriel e Delso pelo incentivo e constante motivação nesse período.

A Natalli Tedesco, por ter me ensinado a cada dia buscar ser uma pessoa melhor, sou muito grato por tudo que aprendi contigo.

As pessoas do grupo de jovens JUCE, pelos diversos momentos de companheirismo e ensinamentos que vou levar por toda vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

Nascido em Curitiba-SC, no ano de 1990, graduou-se em Ciências Rurais (2013) e Engenharia Florestal (2014) pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Em 2014, ingressou no programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Em 2016 defendeu sua dissertação intitulada de “Potencial da madeira de *Eucalyptus badjensis* para a produção de painéis de madeira aglomerada”. Em março de 2016, ingressou no programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná - UFPR, resultando na apresentação desta tese intitulada de “Efeitos de diferentes composições de camadas, tipos de partículas e da modificação térmica em painéis mistos de Aglomerado/OSB”.

“Comece fazendo o que é necessário,
depois o que é possível, e de repente
você estará fazendo o impossível ”

São Francisco de Assis

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes composições de camadas, tipos de partículas e da modificação térmica em painéis Aglo/OSB. O plano experimental foi constituído de duas fases: a primeira consistiu no estudo de diferentes composições de camadas e tipos de partículas; e a segunda fase compreendeu o estudo dos efeitos da modificação térmica. Para a realização da primeira fase experimental, foram produzidos painéis mistos Aglo/OSB utilizando partículas de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp., com as composições de camadas *sliver/strand/sliver* nas proporções de 10%/80%/10%, 15%/70%/15% e 20%/60%/20%, além de painéis testemunhas de aglomerado e OSB. Para a realização da segunda fase experimental, foi escolhida a composição que apresentou os melhores resultados na primeira fase (10%/80%/10% de *Eucalyptus badjensis*) e após a climatização dos painéis, foi aplicada a modificação térmica em 2 tempos de exposição (10 minutos e 12 minutos) e 3 temperaturas (180°C, 200°C e 220°C). As propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão, módulo de elasticidade à flexão estática, módulo de ruptura à flexão estática e tração perpendicular à superfície foram avaliadas conforme os procedimentos recomendados pelas normas EN 323 (EUROPEAN STANDARD, 1993), EN 317 (EUROPEAN STANDARD, 2002), EN 319 (EUROPEAN STANDARD, 2002) e EN 310 (EUROPEAN STANDARD, 2002), respectivamente. Os resultados obtidos demonstraram que os painéis Aglo/OSB apresentam potencial de uso para fins estruturais com cargas limitadas. A composição 10%/80%/10% apresentou os melhores resultados, com médias estatisticamente semelhantes ou superiores às demais composições em todas as propriedades físicas e mecânicas. A madeira de *Eucalyptus badjensis*, bem como sua aplicação em conjunto com a madeira de *Pinus* spp., indicaram potencial para produção de painéis Aglo/OSB. Em relação à modificação térmica, os painéis submetidos aos diferentes tempos de exposição (10 minutos e 12 minutos) foram estatisticamente semelhantes entre si e apresentaram valores médios estatisticamente inferiores aos testemunhas nas propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão. O aumento na temperatura de modificação térmica melhorou a estabilidade dimensional dos painéis, especialmente para absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas de imersão. A modificação térmica nas temperaturas e tempos de exposição utilizados não influenciou as propriedades mecânicas dos painéis Aglo/OSB.

Palavras-chave: *Sliver. Strand.* Tratamento térmico. Temperatura. Tempo.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effects of different layer compositions, types of particles and thermal modification in Particleboard/OSB panels. The experimental plan consisted of two experimental phases: the first consisted of the study of different layer compositions and types of particles. The second phase included the study of the effects of thermal modification. For the first phase, were produced Particleboard/OSB panels using wood of *Eucalyptus badjensis* and *Pinus* spp., with compositions of sliver/strand/sliver layers in the proportions of 10%/80%/10%, 15%/70%/15% and 20%/60%/20%, in addition were produced, control panels of particleboard and OSB. For the second experimental phase, corresponding to the effects of thermal modification, the composition that presented the best results in the first phase (10%/80%/10 of *Eucalyptus badjensis*) was chosen. Thus, after air conditioning, the panels were sent to a hot press using three temperatures (180°C, 200°C and 220°C) and two exposure times (10 minutes and 12 minutes). The properties of water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours of immersion, modulus of elasticity, modulus of rupture and internal bond of the panels were evaluated according to the procedures recommended by EN 323 (EUROPEAN STANDARD, 1993) (2002), EN 317 (EUROPEAN STANDARD, 2002), EN 319 (EUROPEAN STANDARD, 2002) and EN 310 (EUROPEAN STANDARD, 2002), respectively. The results obtained showed that the Particleboard/OSB panels have potential for use for structural purposes. The composition 10%/80%/10% showed the best results, with averages values statistically similar or superior to the other compositions in all physical and mechanical properties. *Eucalyptus badjensis* wood, as well as its application in conjunction with *Pinus* spp. wood indicated potential for the production of Particleboard/ OSB panels. Regarding the thermal modification, the panels submitted to different exposure times (10 min and 12 min) were statistically similar to each other and presented average values statistically inferior to the controls in the water absorption and thickness swelling properties, after 2 and 24 hours of immersion. The increase in temperature of thermal modification improved the dimensional stability of the panels, especially for water absorption and thickness swelling after 24 hours of immersion. The thermal modification in the temperatures and exposure times used did not influence the mechanical properties of the Particleboard/ OSB panels.

Keywords: Sliver. Strands. Thermal treatment. Temperature. Time.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁRVORE ADULTA DE <i>Eucalyptus badjensis</i>	29
FIGURA 2 - REGIÃO DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE <i>Eucalyptus badjensis</i> NO TERRITÓRIO AUSTRALIANO.....	30
FIGURA 3 - DIFERENTES APLICAÇÕES DO PAINEL OSB.....	31
FIGURA 4 - PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS AGLOMERADOS	34
FIGURA 5 - PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS OSB.....	34
FIGURA 6 - COMPOSIÇÕES DE CAMADA PARA PAINÉIS AGLOMERADOS.....	37
FIGURA 7 - ORIENTAÇÃO DAS TIRAS DE MADEIRA DE UM PAINEL OSB	37
FIGURA 8 - ORGANOGRAMA DAS FASES EXPERIMENTAIS DA PESQUISA	49
FIGURA 9 - MADEIRA DE <i>Eucalyptus badjensis</i>	50
FIGURA 10 - ESQUEMA DE RETIRADA DE CUNHAS.....	50
FIGURA 11 - PARTÍCULAS STRANDS E SLIVERS DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E <i>Pinus spp</i>	51
FIGURA 12 - PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS.....	55
FIGURA 13 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA DOS PAINÉIS MISTOS AGLO/OSB E AGLOMERADOS.....	57
FIGURA 14 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA DOS PAINÉIS OSB.....	57
FIGURA 15 - ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS COM <i>Pinus</i> spp. E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)	68
GRÁFICO 2 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS COM <i>Pinus</i> spp. E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)	69
GRÁFICO 3 - COMPARATIVO ENTRE VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)	72
GRÁFICO 4 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)	73
GRÁFICO 5 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS AGLO/OSB DE DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)	75
GRÁFICO 6 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS AGLO/OSB DE DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)	76
GRÁFICO 7 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)	78
GRÁFICO 8 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)	79

GRÁFICO 9 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS COM <i>Pinus</i> spp. NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) E CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).....	82
GRÁFICO 10 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE <i>Pinus</i> spp. E REQUISITOS DAS NORMAS EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) E CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).....	83
GRÁFICO 11 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS DE <i>Pinus</i> spp. NA CAMADA E EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) E CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).....	84
GRÁFICO 12 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E REQUISITOS DAS NORMAS DA CSA0437, EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	87
GRÁFICO 13 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	88
GRÁFICO 14 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	89
GRÁFICO 15 - COMPARATIVO ENTRE VALORES MÉDIOS DE MÓDULO ELASTICIDADE DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	91

GRÁFICO 16 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO RUPTURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	92
GRÁFICO 17 - COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO RUPTURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	93
GRÁFICO 18 - COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	95
GRÁFICO 19 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO RUPTURA DOS PAINÉIS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	96
GRÁFICO 20 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR A SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	97
GRÁFICO 21 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DA NORMA 0437	104
GRÁFICO 22 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)	105

GRÁFICO 23 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE COM DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO E OS REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).	107
GRÁFICO 24 - COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).	108
GRÁFICO 25 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).	110
GRÁFICO 26 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).	111
GRÁFICO 27 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).	114
GRÁFICO 28 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE, TESTEMUNHAS E OS REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).	115
GRÁFICO 29 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).	116

GRÁFICO 30 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	118
GRÁFICO 31 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TERMICA EM DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO E OS REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	119
GRÁFICO 32 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	120
GRÁFICO 33 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	122
GRÁFICO 34 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	123
GRÁFICO 35 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS NORMATIVOS DA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO ADESIVO FENOL-FORMALDEÍDO (FF).....	51
TABELA 2 - PLANO EXPERIMENTAL.....	54
TABELA 3 - PLANO EXPERIMENTAL DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA DOS PAINÉIS	56
TABELA 4 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus badjensis</i>	60
TABELA 5 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A MADEIRA DE <i>Pinus</i> spp.....	61
TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DOS ELEMENTOS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS DO TIPO <i>Sliver</i> DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E <i>Pinus</i> spp.....	61
TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DOS ELEMENTOS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS DO TIPO <i>Strand</i> DE <i>Eucalyptus badjensis</i> E <i>Pinus</i> spp.	63
TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS	65
TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM <i>Pinus</i> spp. NAS CAMADAS EXTERNAS	66
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM <i>Eucalyptus badjensis</i> NAS CAMADAS EXTERNAS	70
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS MISTOS AGLO/OSB COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA	73
TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS.....	77
TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE, MÓDULO DE RUPTURA E TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM <i>Pinus</i> spp. NAS CAMADAS EXTERNAS	80
TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE, MÓDULO DE RUPTURA E TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS COM <i>Eucalyptus badjensis</i> NAS CAMADAS EXTERNAS	85

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NAS CAMADAS EXTERNAS.....	90
TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS.....	94
TABELA 17 - RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS DA PARTE 1 E TESTEMUNHAS.....	98
TABELA 18 - VALORES DE MASSA ESPECÍFICA NOMINAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE E TESTEMUNHAS.	99
TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS TRATADOS COM DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.....	100
TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.....	101
TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE E TESTEMUNHAS	102
TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.....	105
TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS TRATADOS TERMICAMENTE COM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	108
TABELA 24 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE E TESTEMUNHAS.....	113
TABELA 25 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO	117
TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	121

TABELA 27 - RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA.....	125
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA24h - Absorção de água após 24 horas
AA2h - Absorção de água após 2 horas
BP - Revestimento de baixa pressão
C - Comprimento
CSA - Canadian standards Association
E - Espessura
EN - European standard
FF - Fenol-formaldeído
IE24h - Inchamento em espessura após 24 horas
IE2h - Inchamento em espessura após 2 horas
IES - Índice de esbeltez
L - Largura
MDP - *Medium density particleboard*
MEA - Massa específica aparente
Min - Minutos
MOE - Módulo de elasticidade à flexão estática
MOR - Módulo de ruptura à flexão estática
OSB - *Oriented Strand Board*
pH - Potencial de hidrogênio
PSF - Ponto de saturação das fibras
Revestimeto FF - Revestimento *Finish Foil*
RP - Razão de planicidade
T - Testemunha
TP - Tração perpendicular à superfície
UF - Ureia-Formaldeído
UFPR - Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	28
1.1.1	Objetivo Geral.....	28
1.1.2	Objetivos Específicos	28
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	29
2.1	<i>Eucalyptus badjensis</i> BEUZEV. & WELCH	29
2.2	PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB).....	31
2.3	PAINÉIS AGLOMERADOS	32
2.3.1	Processo produtivo de painéis aglomerados e OSB.....	33
2.3.1.1	Geração de partículas	34
2.3.1.2	Secagem	35
2.3.1.3	Classificação	35
2.3.1.4	Aplicação de adesivo e aditivos químicos	36
2.3.1.5	Formação do colchão	36
2.3.1.6	Prensagem	37
2.3.1.7	Climatização	38
2.3.1.8	Acabamento	38
2.3.1.9	Revestimento.....	39
2.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA.....	39
2.4.1	Fatores inerentes à espécie	39
2.4.1.1	Massa específica.....	40
2.4.1.2	pH.....	41
2.4.1.3	Extrativos.....	42
2.4.2	Massa específica dos painéis.....	42
2.4.3	Geometria e orientação das partículas	43
2.4.4	Tipo e quantidade de adesivos e aditivos.....	44
2.5	MODIFICAÇÃO TÉRMICA	46
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1	OBTENÇÃO DO MATERIAL	49
3.2	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA	52
3.3	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DO ADESIVO.....	52

3.4	PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS	53
3.5	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	53
3.6	MODIFICAÇÃO TÉRMICA	56
3.7	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS	56
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA	60
4.2	AVALIAÇÃO DIMENSIONAL DAS PARTÍCULAS	61
4.3	PROPRIEDADES DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES E COMPOSIÇÕES DE CAMADAS	64
4.3.1	Massa específica aparente e razão de compactação dos painéis.....	64
4.3.2	Absorção de água e inchamento em espessura.....	66
4.3.2.1	Painéis produzidos com partículas de <i>Pinus</i> spp. nas camadas externas....	66
4.3.2.2	Painéis produzidos com partículas de <i>Eucalyptus badjensis</i> nas camadas externas	69
4.3.2.3	Efeitos das espécies.....	73
4.3.2.4	Efeitos das diferentes composições de camadas.....	76
4.3.3	Propriedades mecânicas dos painéis	79
4.3.3.1	Painéis produzidos com partículas de <i>Pinus</i> spp. nas camadas externas....	79
4.3.3.2	Painéis produzidos com partículas de <i>Eucalyptus badjensis</i> nas camadas externas	84
4.3.3.3	Efeitos das espécies.....	89
4.3.3.4	Efeitos das diferentes composições de camadas.....	93
4.3.4	Resumo das avaliações das propriedades dos painéis.....	97
4.4	PROPRIEDADES DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA	99
4.4.1	Propriedades físicas dos painéis	99
4.4.2	Propriedades mecânicas dos painéis	112
4.4.3	Resumo da avaliação das propriedades dos painéis - modificação térmica	125
5	CONCLUSÕES	127
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	129
6	REFERÊNCIAS.....	130

APÊNDICE	141
----------------	-----

1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus badjensis* é uma espécie bastante promissora para utilização em plantios comerciais na região Sul do Brasil. Por ser proveniente de uma região fria do território australiano, a espécie apresenta, como diferencial em relação a outras espécies do gênero *Eucalyptus*, a elevada resistência a geadas (HIGA et al., 2002).

A utilização da madeira dessa espécie vem sendo estudada para diversas finalidades, como polpa celulósica, papel e alguns tipos de painéis de madeira. Contudo, estudos sobre a sua aplicação em painéis de partículas de madeira ainda são incipientes (PEREIRA et al., 2017).

Os processos produtivos de painéis particulados de madeira são altamente tecnológicos, com um elevado número de variáveis que interagem entre si (THOEMEN et al., 2010). Entre essas variáveis, é possível destacar a geometria das partículas, uma vez que sua correta definição é determinante nas propriedades finais e aplicação do produto (IWAKIRI, 2005).

O uso de partículas finas e alongadas geralmente fornece aos painéis melhores resultados de resistência à flexão estática (CHIROMITO et al., 2016). Por outro lado, partículas menores conferem ao painel melhores propriedades de acabamento superficial (THOEMEN et al., 2010).

Na produção de painéis de partículas orientadas (OSB), são utilizadas partículas do tipo *strand*, enquanto que, para a produção de painéis de partículas de média densidade (aglomerado ou MDP), são empregadas partículas menores do tipo *sliver* (THOEMEN et al., 2010).

Por sua vez, as partículas podem ser dispostas em diferentes quantidades nas camadas. Nesse contexto, diversos estudos vêm sendo realizados, como o de Trianoski et al. (2016), no qual os autores estudaram painéis OSB de *Cryptomeria japonica* nas proporções face/miolo/face de 20%/60%/20% e 30%/40%/30% e concluíram que a composição de camadas 20%/60%/20% gerou maior balanceamento das propriedades de flexão estática nas direções paralela e perpendicular ao plano do painel.

Em função das suas propriedades físicas e mecânicas, os painéis de madeira apresentam uma vasta quantidade de aplicações finais, principalmente relacionadas à indústria moveleira e construção civil, como pisos, portas, forros, entre outros (MARZBANI et al., 2015).

De acordo com Macedo et al. (2019), a utilização de painéis de madeira para fins estruturais tem crescido significativamente nos últimos anos. Os painéis OSB apresentam propriedades de resistência mecânica adequadas para esta finalidade, mas com acabamento superficial inferior em relação aos aglomerados. Já os painéis aglomerados apresentam melhor acabamento superficial, contudo, não atingem os requisitos de resistência necessários para fins estruturais (THOEMEN et al., 2010).

Desse modo, uma alternativa para se obter um produto estrutural, com resistência mecânica adequada e melhor acabamento superficial, seria a produção de um painel misto, utilizando, nas camadas externas, partículas do tipo *sliver* (aglomerado) e, na camada interna, partículas do tipo *strand* (OSB).

A grande limitação dos painéis aglomerados e OSB são os elevados percentuais de absorção de água e inchamento em espessura. Em função disso, diversos estudos vêm sendo realizados visando melhorar as propriedades de estabilidade dimensional desses painéis. Um método que tem se mostrado bastante eficiente é a modificação térmica (MELO et al., 2008; MENDES et al., 2013).

A modificação térmica consiste no aquecimento de produtos de madeira em temperaturas que variam de 100°C a 250°C (CROITORU et al., 2018). Além da melhora nas propriedades de estabilidade dimensional, este método também é aplicado para aumentar a resistência a organismos biodegradadores e para alterar a coloração do produto (MOURA et al., 2012).

De acordo com Mendes et al. (2013), existem dois métodos comuns de modificação térmica aplicados para painéis: o pré-tratamento e o pós-tratamento. No pré-tratamento, o aquecimento é realizado na matéria-prima (partículas) e, por sua vez, no pós-tratamento, o tratamento é aplicado sobre os painéis já consolidados.

Para OSB, Del Menezzi et al. (2009) avaliaram o comportamento de painéis comerciais de *Pinus taeda* modificados termicamente nas temperaturas de 190°C e 220°C, durante os períodos de 12, 16 e 20 minutos. Os resultados demonstraram que a modificação térmica nos diferentes tempos e temperaturas analisados ocasionou uma melhora na estabilidade dimensional dos painéis, sendo que apenas no tratamento com 220°C ocorreu uma leve redução nos valores de módulo de elasticidade. Desse modo, os autores concluíram que a modificação térmica é recomendada para melhorar as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura de painéis OSB.

Para aglomerados, a modificação térmica também tem se mostrado um método eficiente para a melhora da estabilidade dimensional. Melo et al. (2018) estudaram painéis aglomerados de *Eucalyptus* spp. submetidos à modificação térmica em temperaturas de 160°C e 180°C, por períodos de 6 e 12 minutos. Os resultados indicaram que os tratamentos influenciaram positivamente a absorção de água após 24 horas de imersão, sendo que o tratamento com temperatura de 180°C durante 6 minutos foi o que apresentou melhor desempenho sem afetar os módulos de ruptura e elasticidade à flexão estática.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos de diferentes composições de camadas, tipos de partículas e da modificação térmica em painéis Aglo/OSB de *Eucalyptus badiensis* e *Pinus* spp.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a influência da massa específica básica das madeiras de *Eucalyptus badiensis* e *Pinus* spp. sobre as propriedades dos painéis Aglo/OSB;
- Estudar o efeito das diferentes composições de camadas e tipos de partículas sobre as propriedades dos painéis Aglo/OSB;
- Analisar a viabilidade técnica de utilização da madeira de *Eucalyptus badiensis*, em diferentes combinações com a madeira de *Pinus* spp., para a produção de painéis Aglo/OSB;
- Avaliar o efeito da modificação térmica em diferentes tempos de exposição e temperaturas sobre painéis Aglo/OSB;
- Comparar as propriedades físicas de mecânicas de painéis Aglo/OSB com painéis testemunhas de aglomerado e OSB;
- Verificar se os painéis atendem aos requisitos mínimos das normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch

A espécie *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch apresenta grande potencial para plantios na região Sul do Brasil em função de sua elevada taxa de crescimento e alta resistência a geadas (HIGA et al., 2002). As árvores adultas são consideradas de tamanho médio a alto (FIGURA 1), com imperfeições nas cascas ao longo do tronco, sendo estas mais suaves na porção superior do vegetal (PENFOLD, 1961).

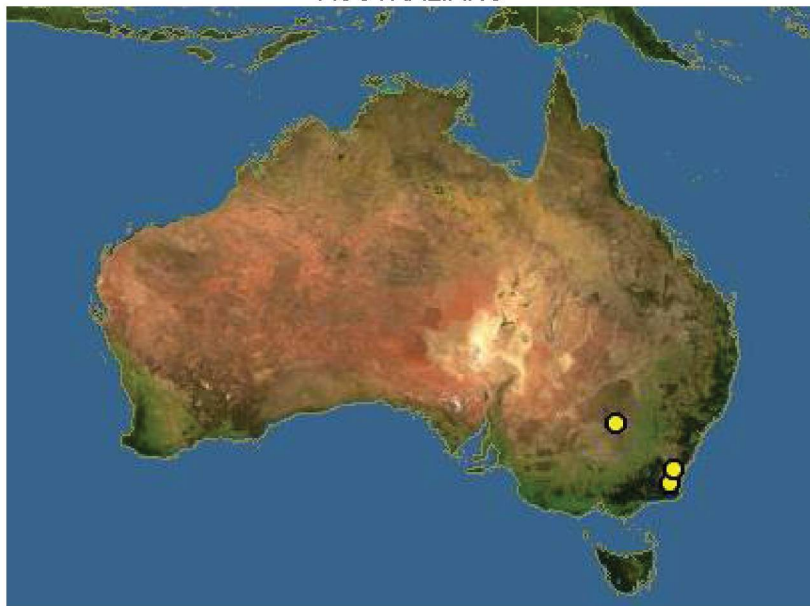
FIGURA 1 - ÁRVORE ADULTA DE *Eucalyptus badjensis*



FONTE: FAGG (2011)

A espécie tem ocorrência natural em uma área restrita ao sudoeste do Estado de Nova Gales do Sul, na Austrália (FIGURA 2). Nessa região, a frequência de geadas pode chegar a mais de 100 por ano, com eventual ocorrência de neve (BOLAND et al., 1984).

FIGURA 2 - REGIÃO DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE *Eucalyptus badjensis* NO TERRITÓRIO AUSTRALIANO



FONTE: DISCOVER LIFE (2017).

No Brasil, Higa et al. (2002), em estudo sobre diferentes procedências de *Eucalyptus badjensis* implementadas em Ponta Grossa (PR) e em Vargem Bonita (SC), concluíram que, embora tenham ocorrido geadas severas, não foram observados danos aparentes, mesmo os mais comuns, como queima de folhas jovens e brotos.

Em relação ao crescimento, Paludzyszyn Filho et al. (2006) avaliaram povoamentos localizados na cidade de Ponta Grossa-PR e concluíram que a espécie apresentou crescimento compatível com o de outras espécies subtropicais.

Na África do Sul, o *Eucalyptus badjensis* foi identificado como uma das poucas espécies com potencial comercial nas regiões temperadas do país, principalmente pela elevada resistência a geadas e rápido crescimento (CELE; SWAIN, 2016).

Na China, Mujiu et al. (2003) estudaram o comportamento de mudas de *Eucalyptus badjensis* plantadas no país e relataram que não houve a ocorrência de danos visíveis e mortalidade das plantas.

Sobre a utilização da espécie em produtos de origem florestal, Antônio (2011) estudou a presença de óleos essenciais em árvores da espécie e concluiu que as folhas secas de *Eucalyptus badjensis* apresentam bom rendimento, com alto teor de 1,8-cineol (81,17%), um dos metabólitos mais procurados em óleos essenciais de *Eucalyptus*.

Por sua vez, Mantero et al. (2008) concluíram que a madeira de *Eucalyptus badjensis* apresenta características anatômicas adequadas para a produção de papel, conferindo ao produto boa formação da folha, boa ligação entre as fibras, alta resistência a tração e a ruptura, além de boa opacidade.

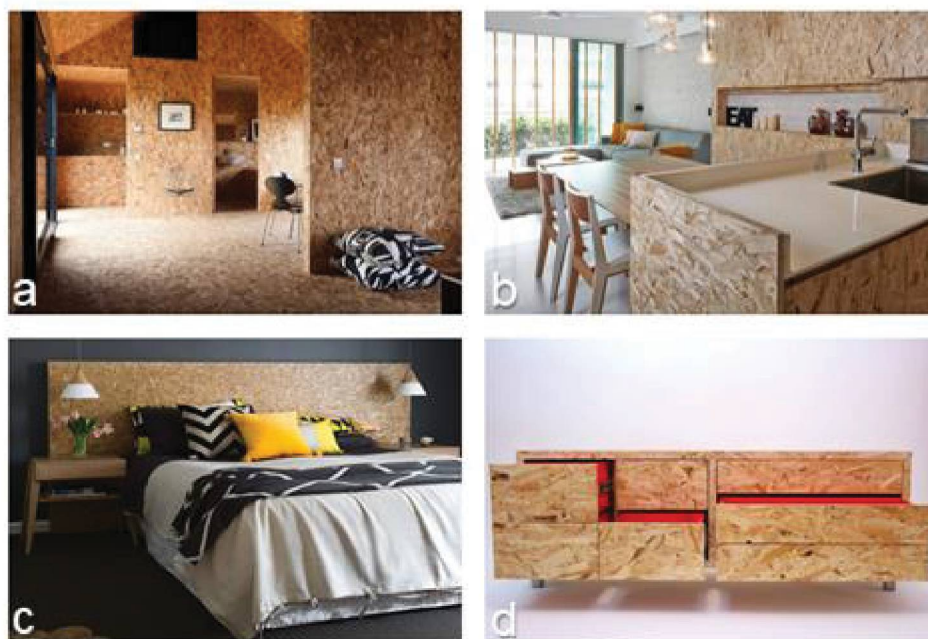
Pereira et al. (2017) concluíram que a madeira de *Eucalyptus badjensis*, bem como sua utilização em conjunto com a madeira de *Pinus* spp., apresentam potencial de utilização no processo produtivo de painéis de madeira aglomerada. Contudo, não foram encontrados estudos relacionados à utilização da espécie para outros tipos de painéis de madeira, como os painéis OSB.

2.2 Painéis de partículas orientadas (OSB)

O *Oriented Strand Board* (OSB) é um painel de tiras de madeira orientadas com a incorporação de adesivos e consolidado por meio de prensagem a quente (MALONEY, 1993; CABRAL et al., 2006; ZERBE et al., 2015).

Em decorrência de características intrínsecas do painel, como elevada resistência a flexão estática, o OSB apresenta uma grande variedade de aplicações (FIGURA 3), podendo ser utilizado em paredes, forros, pisos, componentes de vigas estruturais, embalagens e diversos outros usos (FIORELLI et al., 2012; PRESTEMON et al., 2015).

FIGURA 3 - DIFERENTES APLICAÇÕES DO PAINEL OSB



a) PEREDES, FORRO E PISOS; b) MÓVEIS DE COZINHA; c) CABECEIRA DE CAMA; d) APARADOR.

FONTE: FERREIRA (2017).

Segundo Mendes et al. (2007), os painéis OSB apresentam como diferenciais os seguintes fatores:

- Possibilidade de utilização de toras de qualidade inferior e baixo valor de comercialização;
- A largura do painel pode ser estabelecida em função da sua tecnologia de produção, independentemente do tamanho das toras;
- Material de performance reconhecida por grupos normativos, construtores e consumidores.

Quando comparados os custos de produção e o preço final no mercado de produtos de madeira, é possível observar que o OSB é mais econômico do que o compensado (MENDES, 2001).

Eisfeld e Berger (2012) em estudo sobre o mercado de painéis de madeira no estado do Paraná, relataram que há uma tendência de aumento no consumo de painéis OSB e queda no consumo de painéis compensados.

Contudo, Bortoletto Júnior e Garcia (2004) ressaltam que, para que o painel OSB substitua o compensado, são necessários estudos aprofundados sobre as propriedades requeridas para cada finalidade do produto.

2.3 Painéis aglomerados

O aglomerado é um painel de partículas de madeira dispostas de forma aleatória, aglutinadas com a utilização de adesivos e consolidadas por meio de calor e pressão (CARLL, 1986; TSOUMIS, 1991; MALONEY, 1996; IWAKIRI, 2005).

A madeira compreende aproximadamente 95% do material lignocelulósico utilizado para a confecção de painéis aglomerados. A outra parte consiste principalmente em materiais de culturas sazonais como linho, bagaço de cana e palha de cereais (THOEMEN et al., 2010).

O aglomerado foi desenvolvido na Alemanha na década de 1940 e sua produção se expandiu rapidamente por todo o continente europeu (BONGIORNO; OLIVEIRA, 1977), sendo que, na mesma década, a produção industrial desse produto apresentou ótimo crescimento em todo mundo (MALONEY, 1993).

No Brasil, a produção de aglomerados em escala industrial teve início na cidade de Curitiba-PR, no ano de 1966, pela indústria Placas do Paraná. Em sua fase de implementação no mercado nacional, este tipo de painel foi alvo de questionamentos quanto a sua qualidade, principalmente devido ao uso do produto em locais inadequados, como locais com elevada exposição à umidade (BELINI, 2012). Os painéis aglomerados são painéis destinados ao uso interno, sendo que este tipo de painel não é recomendado para o uso externo, pois, quando em contato com água, apresenta baixa estabilidade dimensional (BIANCHE, 2009).

Com o intuito de melhorar a imagem do produto frente ao mercado consumidor, as indústrias do setor desenvolveram novas tecnologias que melhoraram as propriedades do painel e criaram a denominação MDP - *Medium Density Particleboard* (IWAKIRI, 2012).

Recentemente, questões pertinentes à normatização do produto vêm sendo amplamente debatidas e a utilização da terminologia MDP, ou painéis de partículas de média densidade, vem sendo consolidada (ABNT, 2010).

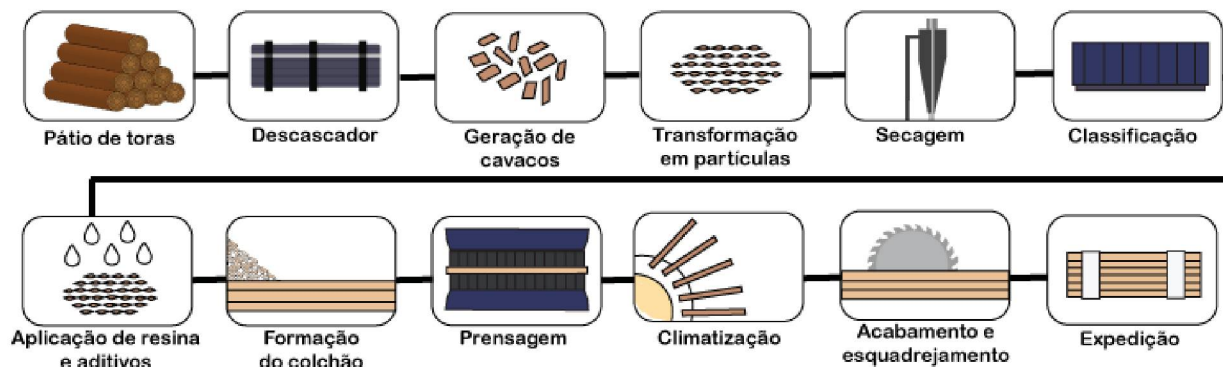
Esse tipo de painel é amplamente utilizado na indústria moveleira e na construção civil ao redor do mundo, em sistemas de revestimento, pisos, portas, entre outros (YOUNGQUIST, 1999; AKYUZ et al., 2010; ÇOLAK et al., 2011; MARZBANI et al. 2015).

Em função da vasta gama de aplicações, os painéis aglomerados podem apresentar algumas especificidades conforme a destinação do produto. Desse modo, em determinados casos, pode ser necessária a adequação do seu processo produtivo (IWAKIRI, 2005).

2.3.1 Processo produtivo de painéis aglomerados e OSB

Os processos produtivos de painéis aglomerados e OSB são semelhantes. De acordo com Iwakiri (2005), a produção de painéis aglomerados compreende as seguintes etapas: geração de partículas; secagem; classificação; aplicação de adesivo e de aditivos químicos; formação do colchão; pré-prensagem; prensagem a quente; resfriamento; acondicionamento; acabamento; classificação; embalagem e armazenamento (FIGURA 4).

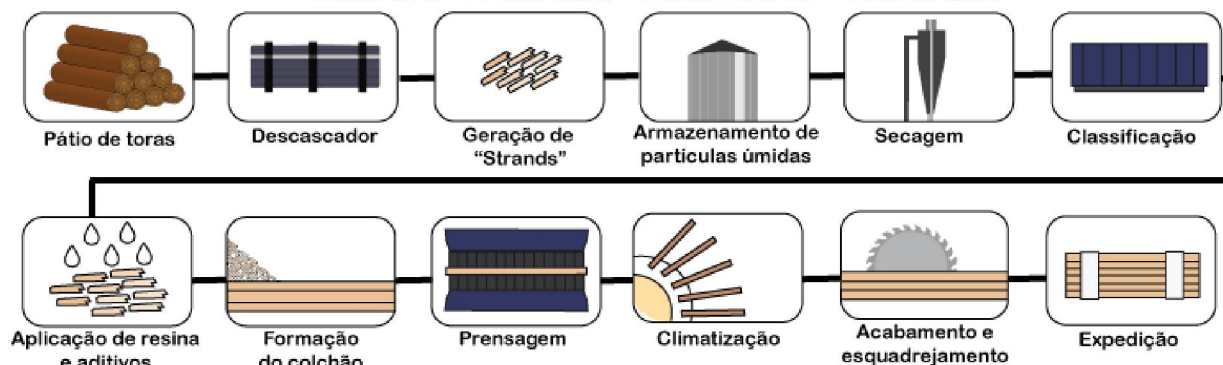
FIGURA 4 - PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS AGLOMERADOS



FONTE: O autor (2020).

Por sua vez, o processo produtivo de painéis OSB (FIGURA 5) compreende as seguintes etapas: conversão das toras; descascamento; geração das partículas; armazenamento das partículas úmidas; secagem; classificação; aplicação do adesivo e aditivos químicos; formação do colchão; prensagem das chapas; acondicionamento e acabamento dos painéis (IWAKIRI, 2005).

FIGURA 5 - PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS OSB



FONTE: O autor (2020).

2.3.1.1 Geração de partículas

A etapa de geração de partículas está diretamente relacionada ao tipo de material utilizado (THOEMEN et al., 2010). Essa etapa pode acontecer interna ou externamente à unidade fabril, sendo realizada por meio de equipamentos como: picadores; moinhos e cepilhadores (MALONEY, 1993).

A matéria-prima, antes de ser transformada em partículas, pode estar em diferentes formas como: madeira em tora, maravalha, cavacos, resíduos de madeira, serragem, entre outros. Em decorrência disso, quando armazenada na planta industrial, sempre que possível deve ser classificada por tipo, teor de umidade e espécie. Materiais maiores, como toras e cavacos, podem ser armazenados externamente. Já, materiais mais finos costumam ser armazenados internamente, em ambientes protegidos como silos (MALONEY, 1993).

2.3.1.2 Secagem

Em função das matérias-primas não apresentarem teores de umidade adequados no momento de sua chegada à unidade fabril, depois de preparadas, as partículas são conduzidas para a secagem (STARK et al. 2010). Os equipamentos mais utilizados para a secagem de partículas de madeira são do tipo tambor rotativo contínuo (IWAKIRI, 2005).

Nessa etapa, o teor de umidade do material é reduzido para valores entre 2% a 3%. Esses valores reduzidos são necessários, pois, durante a prensagem a quente, a umidade residual é convertida em vapor. Desse modo, caso os valores sejam altos, podem ocorrer problemas nos painéis, como é o caso dos estouros (THOEMEN et al., 2010).

2.3.1.3 Classificação

Após a secagem, as partículas são conduzidas à etapa de classificação, na qual o material é separado de acordo com as dimensões utilizadas no processo, sendo retirados as impurezas e os finos (CHIPANSKI, 2006). Os sistemas mais utilizados para a classificação de partículas são: peneiras vibratórias e pneumáticas (YOUNGQUIST, 1999).

Em determinados processos produtivos, a classificação das partículas é realizada antes da secagem. Nesse método, as partículas inadequadas para o processo não são secas, o que resulta em uma economia de energia. O processo de secagem pode ser mais bem controlado quando as partículas são classificadas anteriormente, contudo, partículas úmidas são mais difíceis de serem classificadas, pois tendem a permanecer agrupadas. Em função disso, a maioria das fábricas realiza a classificação das partículas após a secagem (THOEMEN et al., 2010).

Os tamanhos adequados de partículas podem variar de acordo com o processo de fabricação e as especificações finais do painel. Para um painel MDP, na camada interna, são utilizadas as partículas maiores e, nas camadas externas, as partículas mais finas e menores (THOEMEN et al., 2010).

Por sua vez, para painéis OSB, são desejáveis partículas maiores e mais longas em todas as camadas, contudo, em alguns casos, podem ser utilizadas partículas menores na camada interna. Partículas *oversize*, com lascas e poeira, não são desejáveis (STARK et al., 2010).

2.3.1.4 Aplicação de adesivo e aditivos químicos

Nessa etapa é realizada a aspersão de adesivos e parafina sobre as partículas. Para a aplicação de adesivos, podem ser utilizados os sistemas de aplicação por rolos e de aplicação por atomização (IWAKIRI, 2005).

Antes da aplicação nas partículas, a solução de adesivo, geralmente, é misturada em receitas pré-estabelecidas com água e aditivos, podendo ser utilizadas diferentes formulações para as camadas externas e internas (THOEMEN et al., 2010).

Os adesivos líquidos são frequentemente adquiridos em soluções à base de água, contendo teor de sólidos de aproximadamente 50% para o adesivo Fenol-formaldeído (FF) e 65% para o composto Ureia-Formaldeído (UF) de sólidos. Estes adesivos são denominados termoendurecedores, nos quais o processo de cura foi interrompido antes da entrega da solução, portanto, a duração do armazenamento é limitada a algumas semanas, dependendo da estação do ano, temperatura de transporte e armazenamento. Existem adesivos comercializados na forma em pó que apresentam um período de armazenamento mais longo, contudo, sua utilização ainda é pouco comum (THOEMEN et al., 2010).

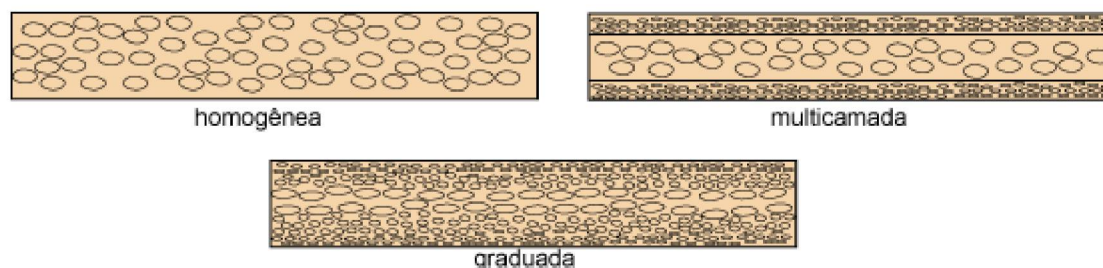
2.3.1.5 Formação do colchão

Essa etapa consiste na deposição de partículas com adesivo sobre uma esteira móvel, em quantidade pré-determinada, conforme a massa específica nominal e a espessura final do painel. O equipamento utilizado para formação do colchão é denominado de estação formadora (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Thoemen et al. (2010), é essencial que essa etapa seja realizada de forma adequada, uma vez que apresenta influência direta sobre as propriedades finais dos painéis.

De acordo com Maloney (1993), existem três configurações básicas para painéis de madeira aglomerada: homogênea; multicamada e graduada (FIGURA 6).

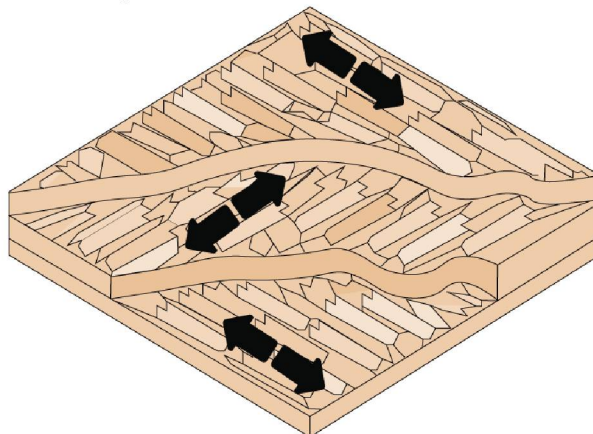
FIGURA 6 - COMPOSIÇÕES DE CAMADA PARA PAINÉIS AGLOMERADOS



FONTE: Adaptado de Maloney (1993).

Por sua vez, nos painéis OSB, as partículas são distribuídas de forma orientada (FIGURA 7). Em sua maioria, os painéis OSB são formados por três a cinco camadas de partículas, sendo as camadas externas orientadas no sentido paralelo ao comprimento do painel e a camada interna no sentido perpendicular. Em alguns casos, as partículas da camada interna são dispostas de forma aleatória (TSOUMIS, 1991).

FIGURA 7 - ORIENTAÇÃO DAS TIRAS DE MADEIRA DE UM PAINEL OSB



FONTE: Adaptado de SBA (2006).

2.3.1.6 Prensagem

Antes da prensagem a quente, o colchão de partículas passa pela pré-prensagem (STARK et al., 2010). A pré-prensagem ocasiona uma redução do volume de ar no colchão e, desse modo, melhora a transferência de calor na etapa de prensagem (THOEMEN et al., 2010).

Após passar pela pré-prensagem, o colchão é conduzido à etapa de prensagem a quente, quando ocorrem a cura do adesivo, a densificação e a consolidação do colchão até a espessura final de painel (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Thoemen et al. (2010), para se produzir um painel de resistência adequada, a matéria-prima deve ser comprimida no mínimo 5% acima de sua massa específica básica. Porém, geralmente as partículas são comprimidas cerca de 50% acima de sua massa específica básica. Por exemplo, uma madeira de 0,400 g/cm³ possivelmente será transformada em um painel com massa específica básica de aproximadamente 0,600 g/cm³. Esse grau de compactação é necessário para se obter o contato adequado entre as partículas.

As prensas podem ser classificadas como prensas de pratos e contínuas (STARK et al., 2010). A prensagem contínua é a mais comum nas indústrias de OSB (BASTOS, 2009) e de aglomerado (NATUS, 2008). Entre as vantagens desse tipo de prensagem, estão a redução do tempo de prensagem, a possibilidade de produção de painéis com maior variabilidade de dimensões, além da maior uniformidade de espessuras dos painéis, fato que reduz significativamente as perdas com o lixamento (THOEMEN et al., 2010).

2.3.1.7 Climatização

Após a prensagem, os painéis são conduzidos a resfriadores do tipo estrela ou garfo giratório. Esta etapa evita que ocorra a degradação térmica do adesivo, que acontece quando os painéis são empilhados juntos logo após a prensagem (THOEMEN et al., 2010).

Na sequência, os painéis são empilhados por um período mínimo de 48 horas até atingirem temperatura e umidade de equilíbrio com o ambiente (IWAKIRI, 2005).

2.3.1.8 Acabamento

Após serem climatizados, os painéis são esquadrejados para realizar ajustes na largura e comprimento e deixá-los em conformidade com os padrões de comercialização (THOEMEN et al., 2010).

Em seguida, os painéis aglomerados são conduzidos a etapa de lixamento. O objetivo desta etapa é melhorar o acabamento superficial e padronizar a espessura dos painéis (IWAKIRI, 2005).

2.3.1.9 Revestimento

Os painéis de partículas podem ser comercializados com ou sem revestimento. Para painéis aglomerados, os revestimentos mais utilizados são do tipo Baixa Pressão (BP) e Finish foil (FF) (EISFELD, 2009).

O revestimento BP consiste na aplicação de folha de papel impregnada com adesivo melamínico. Por sua vez, no revestimento FF é utilizada uma lâmina celulósica especialmente envernizada no painel, que pode ser aplicada pelo sistema de prensa hidráulica ou calandra (BIAZUS et al., 2010).

2.4 Fatores que influenciam nas propriedades de painéis reconstituídos de madeira

As propriedades finais dos painéis reconstituídos de madeira estão estritamente relacionadas à interação de uma série de variáveis e, desse modo, o controle dessas variáveis é de elevada importância para a obtenção de um produto de qualidade (KELLY, 1977; TSOUMIS, 1991).

Entre os principais fatores que influenciam no processo produtivo de painéis reconstituídos, estão: as variáveis inerentes à espécie (massa específica, pH, extrativos...), a massa específica dos painéis, a geometria das partículas e o tipo e quantidade de adesivo e aditivos.

2.4.1 Fatores inerentes à espécie

A escolha da espécie a ser utilizada é de extrema importância, pois essa variável interage com todas as outras e afeta diretamente as propriedades finais dos painéis (MENDES, 2001), sobretudo, pelo fato de que madeiras de diferentes espécies podem apresentar grande variabilidade em suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, podendo exercer influências positivas e negativas na fabricação de painéis de madeira (MARRA, 1992).

A madeira de *Pinus* spp. é amplamente utilizada para a produção de painéis de madeira no Brasil, principalmente em função de sua baixa massa específica e grande disponibilidade de plantios comerciais no país (IWAKIRI, 2005). Entretanto, em função da crescente demanda e visando ao aperfeiçoamento da produção de painéis de madeira, diversos estudos vêm sendo realizados objetivando a introdução de espécies alternativas de rápido crescimento no processo produtivo (PAN et al., 2007).

Para a produção de painéis aglomerados, Trianoski et al. (2011) analisaram o potencial de utilização das espécies *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Grevillea robusta*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*, em mistura com a madeira de *Pinus taeda* e concluíram que, com exceção da *Grevillea robusta*, todas as demais espécies indicaram viabilidade técnica de utilização em mistura com o *Pinus taeda*.

Cunha et al. (2015) estudaram a viabilidade técnica de utilização das espécies *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* para a produção de painéis aglomerados e concluíram que os painéis produzidos com as duas espécies florestais alternativas apresentam potencial de utilização no processo produtivo.

Para a produção de painéis OSB, Iwakiri et al. (2014) estudaram o potencial de utilização das espécies *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevillea robusta*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, concluindo que todas as quatro espécies apresentam viabilidade técnica para a produção desse tipo de painel.

Rosa et al. (2017) estudaram o potencial de utilização de cinco espécies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urograndis*) e concluíram que todas as espécies estudadas apresentam viabilidade técnica para produção de painéis OSB.

2.4.1.1 Massa específica

A principal variável referente à espécie é a massa específica da madeira, pois apresenta influência sobre praticamente todas as propriedades físicas e mecânicas dos painéis (MALONEY, 1993; THOEMEN et al., 2010), além de afetar as variáveis do processo, como consumo de energia e desgaste das facas (MOSLEMI, 1974).

Para a produção de painéis de madeira reconstituída, as espécies mais recomendadas são as que apresentam massa específica de até 0,550 g/cm³ (MALONEY, 1993). Espécies de menor massa específica possibilitam a produção de painéis com adequada área de contato entre as partículas e, desse modo, melhores propriedades de flexão estática e ligação interna (KELLY, 1977; SALDANHA, 2004; HRÁZSKÝ; KRÁL, 2003).

Ferro et al. (2018) estudaram o potencial de uso da madeira de desbaste de *Erismia uncinatum*, *Schizolobium amazonicum* e *Pinus* spp. para a produção de painéis OSB. Nesse estudo, os painéis produzidos com madeiras de *Erismia uncinatum*, de maior massa específica, apresentaram melhores propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura, enquanto os produzidos com madeiras de menor massa específica, como *Pinus* spp., apresentaram melhores propriedades mecânicas.

Gouveia, Santana e Souza (2000) estudaram a utilização de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis OSB e, em todos os tratamentos, obtiveram os melhores resultados para os painéis produzidos com *Eucalyptus grandis*. Os autores atribuíram esses resultados à menor massa específica da madeira dessa espécie.

Contudo, caso a madeira apresente massa específica muito baixa, pode produzir elevada quantidade de finos e de poeira quando transformada em partículas, fato que pode dificultar a colagem (HILLIG, 2000).

Por sua vez, madeiras de maior massa específica produzem painéis com baixa compactação do material, fato que pode reduzir a qualidade final do produto (MENDES, 2001). Uma forma de viabilizar a utilização da madeira de espécies de maior massa específica é por meio de misturas com espécies de menor massa específica (VITAL, 1973; THOEMEN et al., 2010).

2.4.1.2 pH

O potencial de hidrogênio (pH) da madeira geralmente se situa na faixa de 3 a 6 (IWAKIRI, 2005). O pH pode variar conforme a espécie, local de crescimento da árvore e condições de armazenamento do material (ELIAS; IRLE, 1996). Também podem ocorrer variações de pH dentro de uma mesma peça de madeira em consequência da migração de extrativos das camadas internas para as camadas superficiais (IWAKIRI, 2005).

O pH da madeira afeta diretamente a colagem do painel, sendo que madeiras de pH neutro podem não apresentar cura suficiente do adesivo. Já as madeiras de pH ácido podem ocasionar uma pré-cura do adesivo (KOLLMAN et al., 1975; ELIAS; IRLE, 1996; ALBUQUERQUE, 2002).

Nos casos em que ocorre a pré-cura, os painéis obtidos apresentam baixa resistência mecânica em função de a cura do adesivo acontecer antes das partículas serem comprimidas e, desse modo, quando os painéis são prensados, as ligações do adesivo são quebradas (ELIAS; IRLE, 1996).

Akyuz et al. (2010) estudaram os efeitos da acidez das partículas nas propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados e concluíram que o uso de partículas com pH abaixo de 4 e acima de 5 afetou negativamente as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Segundo Trianoski (2010), em alguns casos, é necessário o tratamento das partículas para adequação do pH, procedimento que pode tornar o processo oneroso.

2.4.1.3 Extrativos

Os extrativos são substâncias orgânicas de baixo peso molecular que se depositam nos lúmens ou paredes celulares da madeira. São constituídos por carboidratos, ácidos, alcaloides, resinas e taninos (TSOUMIS, 1991; KLOCK; ANDRADE, 2013). Embora os extrativos compreendam uma grande gama de compostos químicos, geralmente estão presentes em pequenas quantidades na madeira (KLOCK; ANDRADE, 2013).

De acordo com Jankowski (1988), o teor de extrativos da madeira geralmente se situa entre 3% e 10%, contudo, algumas espécies de regiões tropicais podem apresentar teores de extrativos superiores aos 10%.

Os extrativos influenciam diversas propriedades da madeira, como a cor, o odor, a durabilidade, a inflamabilidade, além de apresentar influência sobre a colagem do material (PEREIRA et al., 2007). Em geral, madeiras com altos teores de extrativos apresentam dificuldades na aplicação do adesivo, resultando em painéis com baixa qualidade de colagem (MARRA, 1992).

De acordo com Iwakiri (2005), altas concentrações de extrativos nas camadas superficiais podem ocasionar o aumento no tempo de presagem, uma vez que podem bloquear a passagem de água e retardar sua evaporação, podendo causar estouros nos painéis ao final da prensagem.

2.4.2 Massa específica dos painéis

A massa específica dos painéis é um dos principais parâmetros de controle na produção de painéis reconstituídos de madeira, uma vez que apresenta elevada influência sobre suas propriedades físicas e mecânicas (SALDANHA; IWAKIRI, 2009).

Painéis com maior massa específica apresentam melhores propriedades de resistência mecânica em função da maior densificação e compressão do material durante o processo de formação do painel (MALONEY, 1993). Em contrapartida, as propriedades de estabilidade dimensional são prejudicadas em decorrência da maior liberação das tensões de compressão ocorridas durante a prensagem (KELLY, 1997).

Saldanha e Iwakiri (2009) avaliaram painéis OSB de *Pinus taeda* produzidos com massas específicas de 0,650 g/cm³ e 0,900 g/cm³ e concluíram que o aumento na massa específica dos painéis melhorou as propriedades de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) no sentido paralelo, tração perpendicular à superfície e absorção de água após 2 e 24 horas. Entretanto, o inchamento em espessura após 24 horas foi prejudicado. No estudo, não foram constatados efeitos da massa específica sobre as propriedades de MOE e MOR perpendicular.

2.4.3 Geometria e orientação das partículas

A geometria das partículas apresenta elevada importância na produção de painéis de madeira reconstituída, uma vez que permite o ajuste das propriedades dos painéis (THOEMEN et al., 2010). A correta definição desta variável indicará as propriedades finais do produto, bem como a sua aplicação (IWAKIRI, 2005).

A geometria das partículas apresenta influência sobre o acabamento, a colagem e a aplicação de produtos sobre as camadas externas do painel. Em painéis destinados à produção moveleira, são desejadas superfícies lisas e bordas compactas (IWAKIRI, 1989).

Para os painéis OSB, as partículas utilizadas são as do tipo *strand*, enquanto que, para a produção de painéis aglomerados, são empregadas partículas do tipo *sliver* (ROSA, 2015).

As partículas *strand* são tiras de madeira com comprimento ou superfície paralela à direção da grã, suas dimensões variam de 12,70 mm a 76,20 mm para comprimento, de 6,35 mm a 25,40 mm para largura e de 0,25 mm a 0,63 mm para espessura (MARRA, 1992).

Por sua vez, as partículas *sliver* apresentam formato quadrado ou retangular na sua secção transversal, com comprimento paralelo à grã da madeira de pelo menos quatro vezes a sua espessura. Suas dimensões variam de 6,35 mm a 76,20 mm para comprimento e de 0,13 mm a 1,27 mm para largura e espessura (MARRA, 1992).

Para ser obtida uma boa orientação das partículas *strand*, a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de no mínimo 3/1 (MALONEY, 1993).

Para a maior parte das propriedades, partículas finas e alongadas proporcionam os melhores resultados. Contudo, partículas menores conferem ao painel melhores propriedades de acabamento superficial. Em decorrência disso, fabricantes de MDP geralmente utilizam partículas menores para as camadas externas e partículas maiores para a camada interna (THOEMEN et al., 2010).

Os elementos dimensionais das partículas são comprimento, largura e espessura. Destes elementos, podem ser obtidos a razão de esbeltez, a área superficial das partículas e a razão de planicidade (KELLY, 1977; IWAKIRI, 1989).

A razão de esbeltez (comprimento/espessura) exerce influência sobre algumas características dos painéis, como a área de contato entre partículas, as propriedades mecânicas e o consumo relativo de adesivo (ALBERTO, 1992). De acordo com Geimer (1976), partículas com maior razão de esbeltez geralmente proporcionam maiores valores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura aos painéis.

A razão de planicidade (comprimento/largura) afeta o volume relativo do colchão de partículas, sendo que partículas com maior razão de planicidade necessitam de uma menor quantidade de adesivo por unidade de área para obterem uma encolagem adequada (ALBERTO, 1992; SALDANHA, 2004).

Por sua vez, a área superficial das partículas tem relação direta com o consumo de adesivo (IWAKIRI, 1989). Partículas com menor área superficial específica apresentam uma encolagem mais eficiente, pois possuem maior disponibilidade de adesivo por unidade de área (MOSLEMI, 1974).

2.4.4 Tipo e quantidade de adesivos e aditivos

Os adesivos interferem significativamente na qualidade e nos custos de produção de painéis de partículas de madeira. Portanto, a definição correta do tipo e da quantidade de adesivo a serem utilizadas na produção é de ampla relevância para maximizar a relação custo-benefício do processo (MENDES, 2010).

Para a produção de painéis de madeira reconstituída, os adesivos devem apresentar um tempo de assemblagem de pelo menos 20 minutos, de modo que a cura não ocorra antes do colchão ser conduzido à prensa. Sendo assim, os adesivos mais utilizados na produção de painéis particulados são os compostos Ureia-formaldeído (UF), Fenol-Formaldeído (FF) e Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF) (THOEMEN et al., 2010).

Entre as vantagens do adesivo ureia-formaldeído, encontram-se o menor custo em relação a outros adesivos e a ausência de cor após a cura dos polímeros (PIZZI, 1994). Contudo, uma das grandes desvantagens desse adesivo é a baixa resistência à água, sendo o adesivo ureia-formaldeído classificado como de uso interno (BARROS FILHO, 2009).

É possível aumentar a resistência à umidade do adesivo ureia-formaldeído com a adição de melamina, formando o composto Melamina-ureia-formaldeído, no entanto, esse adesivo apresenta custo mais elevado. A diferença de preço entre os adesivos ureia-formaldeído e melamina-ureia-formaldeído varia conforme a quantidade de melamina adicionada. Um adesivo puro de melamina-formaldeído pode custar até três vezes mais que o adesivo ureia-formaldeído puro (THOEMEN et al., 2010).

Por sua vez, o adesivo fenol-formaldeído não apresenta o problema da degradação em contato com a água, mas seu custo é maior, sendo aproximadamente o dobro do adesivo ureia-formaldeído. Este fato corrobora a importância da otimização da quantidade de adesivo a ser utilizada (THOEMEN et al., 2010).

Nesse contexto, Zang, Jin e Wang (2007) estudaram o efeito da utilização de diferentes teores de adesivo fenol-formaldeído (3,4%, 4,5% e 5,6%) sobre a taxa de absorção de água em painéis OSB, observando que o aumento no teor de adesivo ocasionou uma melhora nos valores médios dessa propriedade.

Mendes et al. (2003) estudaram painéis aglomerados de *Pinus taeda* produzidos com 4% e 6% de adesivo fenol-formaldeído e observaram que os painéis produzidos com 6% de adesivo apresentaram as melhores propriedades físicas e mecânicas.

Okino et al. (2009) analisaram painéis OSB de Seringueira (*Hevea brasiliensis*) *Pinus* (*Pinus taeda*) e Cipreste (*Cupressus* spp.) produzidos com adesivo ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, em diferentes teores (5% e 8%). Os resultados obtidos no estudo demonstraram que, o aumento do teor de adesivo ocasionou uma melhora nas propriedades mecânicas dos painéis, bem como que, o adesivo fenol-formaldeído foi mais eficiente que o ureia-formaldeído em todas as proporções analisadas.

Em relação aos aditivos, com a finalidade de melhorar algumas propriedades específicas dos painéis, podem ser aplicados produtos químicos, como redutores de higroscopicidade, catalisadores, retardantes de fogo e repelentes de fungos e insetos (IWAKIRI, 2005).

Um dos aditivos mais utilizados é a emulsão de parafina. Este composto é aplicado visando diminuir a higroscopicidade e, desse modo, aumentar a estabilidade dimensional dos painéis. Por não apresentar afinidade com a água, a parafina age formando uma película de proteção nas partículas, ocasionando a melhora das propriedades físicas dos painéis (IWAKIRI, 2005).

Nesse contexto, Guimarães Júnior et al. (2013) avaliaram painéis aglomerados de *Pinus oocarpa* produzidos com as concentrações de parafina de 0%, 1%, 1,5% e 2%, concluindo que aumento do percentual de parafina proporcionou uma melhora na estabilidade dimensional e na resistência a compressão dos painéis. Já para o módulo de elasticidade, o módulo de ruptura e a tração perpendicular, não foram observadas variações significativas de seus valores com o aumento das concentrações de parafina.

2.5 Modificação térmica

A modificação térmica consiste no aquecimento de produtos de madeira em temperaturas entre 100°C e 250°C (BRITO et al., 2006; MENEZES et al., 2014; MODES et al., 2017). Esse método é utilizado, principalmente, para melhorar as propriedades de estabilidade dimensional e a resistência a organismos biodegradadores (STAMM, 1982; ARAÚJO, 2010; H'NG et al., 2012).

A melhora na estabilidade dimensional, além de gerar painéis de melhor qualidade, pode contribuir para reduzir o uso de produtos químicos de elevado custo, como a parafina (BRITO; BORTOLETTO JÚNIOR, 2019). A melhora dessa propriedade está relacionada à redução da higroscopicidade do painel e à liberação das tensões de compressão geradas durante a produção do painel (DEL MENEZZI, 2004).

De acordo com Mendes (2010), em função da compactação do colchão de partículas ocorrida durante a prensagem, são desenvolvidas tensões de compressão que ficam retidas no painel. A modificação térmica ocasiona a liberação dessas tensões antes que os painéis entrem em contato com a umidade, reduzindo, assim, o inchamento em espessura.

Por sua vez, a redução da higroscopicidade da madeira ocorre principalmente em função da degradação da hemicelulose, que é o componente mais higroscópico da parede celular (NUOPPONEN et al., 2005; SEVERO et al., 2016).

O nível de transformação sofrido pelos constituintes da madeira e os efeitos atribuídos à modificação térmica são altamente influenciados por fatores como: temperatura; duração do tratamento; taxa de aquecimento; além da interação com a espécie utilizada (PONCSÁK et al., 2006).

A degradação da hemicelulose da madeira começa abaixo de 200°C, com a desacetilação. O ácido acético liberado funciona como um catalisador da despolimerização das hemiceluloses e produz furfural (NUOPPONEN et al., 2005). Com a aplicação de temperaturas mais elevadas, ocorre a degradação da região amorfa das hemiceluloses (BOONSTRA; TJEERDSMA, 2006).

Para a celulose, a modificação térmica ocasiona a degradação das zonas amorfas, essa degradação acontece em temperaturas entre 200°C e 260°C, contribuindo para o aumento do grau de cristalinidade. (FIGUEIROA; MORAIS, 2009; SEVERO et al., 2016).

Por sua vez, a degradação da lignina ocorre na presença de reações exotérmicas entre 225°C e 450°C (FIGUEIROA; MORAIS, 2009). Além disso, devido à degradação térmica da madeira, ocorre uma ligação cruzada entre a lignina e os polímeros (FIGUEIROA; MORAIS, 2009).

A massa específica também pode ser afetada pela modificação térmica. Em alguns casos, ocorre uma perda de massa e, desse modo, redução da massa específica do material (LEE et al., 2017).

A modificação térmica também pode influenciar as propriedades anatômicas das madeiras. Boonstra et al. (2006), analisaram madeiras de diferentes espécies de coníferas e constataram que, com a modificação térmica, em temperaturas entre 160°C e 190°C, ocorreram danos nas células do parênquima radial e células espetelias, bem como rupturas transversais.

Em relação ao ponto de saturação das fibras (PSF), a modificação térmica pode ocasionar a redução dos valores (REPELLIN; GUYONNET, 2005) e, desse modo, contribuir para o aumento da resistência ao ataque de fungos. De acordo com Thoemen et al. (2010), o PSF de madeiras tratadas é próximo a 15%, sendo menor que o da madeira não-tratada. Como fungos e bactérias, em geral, necessitam de teores de umidade superiores a 18% para se desenvolver, a madeira modificada termicamente se torna menos suscetível ao ataque desses organismos.

A modificação térmica também altera as propriedades colorimétricas da madeira. Madeiras modificadas termicamente adquirem colorações semelhantes à de madeiras tropicais de maior valor econômico. Desse modo, a modificação térmica pode ser utilizada como um processo alternativo de agregação de valor aos produtos derivados de madeira (MOURA; BRITO, 2011).

Em função da elevada influência sobre as propriedades da madeira, principalmente da possibilidade de se obter painéis com maior estabilidade dimensional, diversos estudos vêm sendo realizados, visando analisar a influência da modificação térmica sobre as propriedades dos painéis de madeira.

Melo et al. (2018) avaliaram painéis aglomerados de *Eucalyptus* spp. modificados termicamente a temperaturas de 160°C e 180°C por períodos de seis e doze minutos, tendo concluído que a modificação térmica reduziu significativamente a absorção de água após 24 horas.

Del Menezzi et al. (2007) analisaram painéis OSB modificados termicamente com duas temperaturas (190°C e 220°C), em três períodos de exposição (12, 16 e 20 minutos) e concluíram que a modificação térmica reduziu a higroscopicidade, provocando perda de massa dos painéis.

Unsal et al. (2010) avaliaram a rugosidade da superfície de painéis OSB industriais modificados termicamente com as temperaturas de 150°C, 170°C, 190°C e 210°C, pelos períodos de uma e três horas, concluindo que o processo de modificação térmica melhorou os parâmetros de rugosidade da superfície em todos os tratamentos.

Além do tratamento de painéis consolidados, a modificação térmica pode ser aplicada em partículas, antes da produção dos painéis. Nesse contexto, Pereira (2013), avaliou painéis OSB, produzidos com *strands* de *Eucalyptus grandis*, modificados termicamente com as temperaturas de 180°C, 200°C e 220°C, pelos períodos de 30, 60, 90 e 120 minutos e concluiu que a modificação térmica ocasionou a redução da umidade de equilíbrio, da absorção de água e do inchamento em espessura dos painéis.

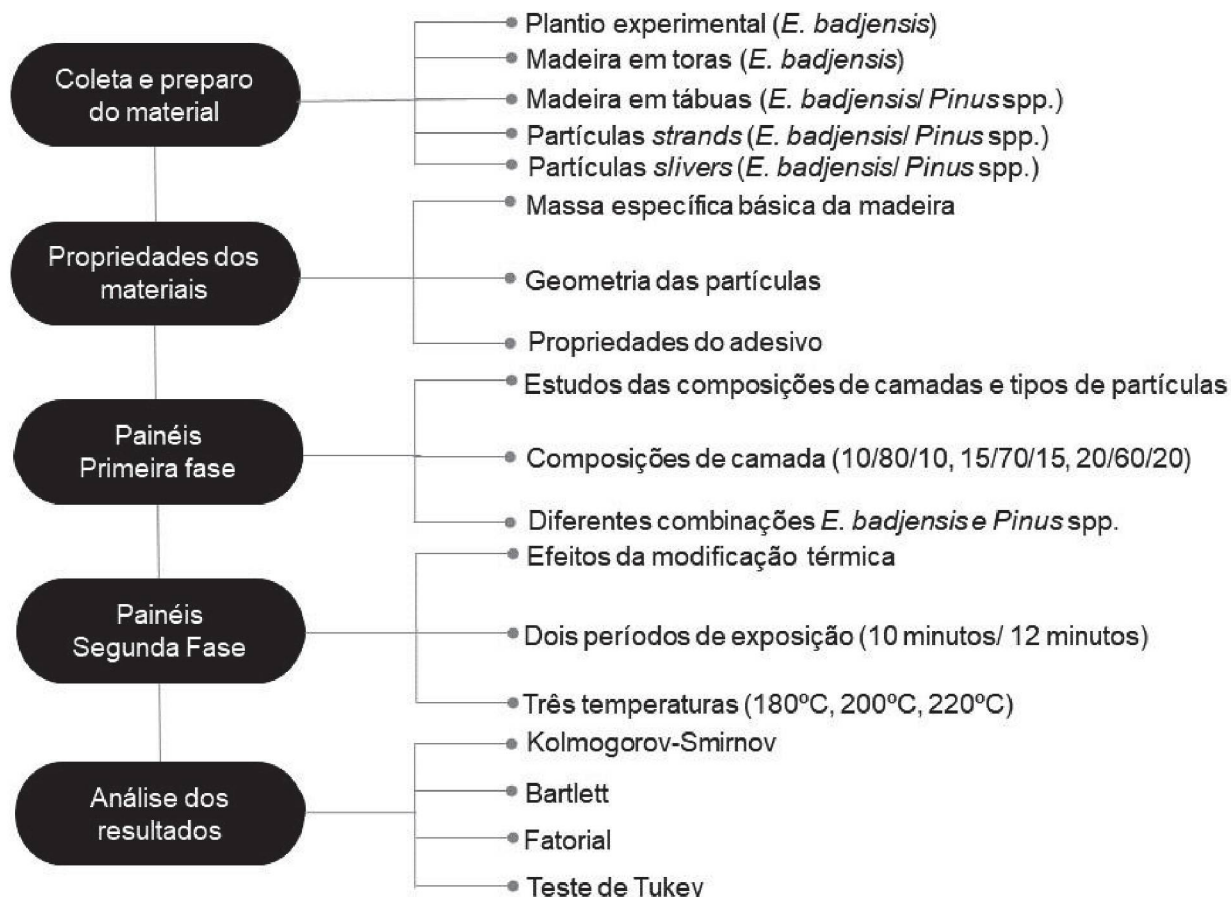
Brito; Bortoletto Júnior (2019), estudaram o efeito da modificação térmica em resíduos de cana de açúcar e bambu destinados para a produção de aglomerados. Nesse estudo, os materiais foram submetidos a modificação térmica à temperatura de 220°C durante 201 minutos. Os autores concluíram que a modificação térmica promoveu melhorias na estabilidade dimensional, contudo reduziu as propriedades mecânicas dos painéis.

Esses estudos indicam a influência da modificação térmica sobre painéis de madeira reconstituída e demonstram a importância de pesquisas sobre os efeitos dessa técnica em painéis reconstituídos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As fases experimentais dessa pesquisa estão apresentadas na figura 8:

FIGURA 8 - ORGANOGRAMA DAS FASES EXPERIMENTAIS DA PESQUISA



FONTE: O Autor (2020)

3.1 Obtenção do material

Para a realização desta pesquisa, foi utilizada madeira de *Eucalyptus badjensis* proveniente de um povoamento florestal com 10 anos de idade, localizado no município de Lages - SC. As árvores foram derrubadas e seccionadas em toras de 2 m. Em seguida, o material foi transportado até uma serraria no município de Otacílio Costa - SC, onde foi desdobrado em tábuas com a espessura de uma polegada (FIGURA 9), para então ser encaminhado ao Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba - PR.

FIGURA 9 - MADEIRA DE *Eucalyptus badjensis*.

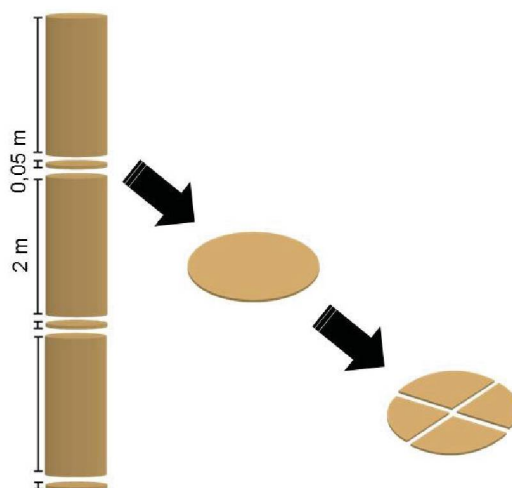
a) Na forma de toras; b) Em tábuas de polegada.

FONTE: O Autor (2020).

Por sua vez, a madeira de *Pinus* spp. foi adquirida em um estabelecimento comercial de Curitiba - PR, na forma de tábuas de uma polegada.

Para a determinação da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus badjensis*, foram retirados discos de 5 cm a cada 2 m ao longo do fuste e, de cada disco, foram retiradas 4 cunhas (FIGURA 10).

FIGURA 10 - ESQUEMA DE RETIRADA DE CUNHAS



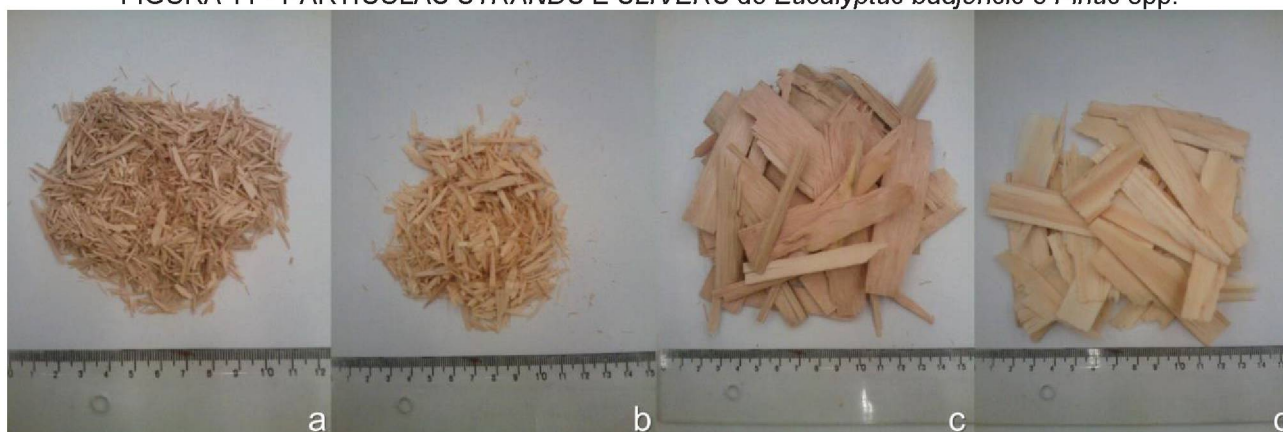
FONTE: O autor (2020).

Já para a determinação da massa específica básica da madeira de *Pinus* spp., os corpos-de-prova foram retirados, de forma aleatória, a partir das tábuas.

Para a geração de partículas, as tábuas de *Eucalyptus badjensis* e de *Pinus* spp. foram seccionadas em peças menores e, em seguida, encaminhadas a um picador, onde foram transformadas em partículas do tipo *strand* (FIGURAS 11c e 11d), as quais foram classificadas em peneira com abertura de 9,52 mm para retirada de partículas menores que essa dimensão.

Em um moinho de martelo parte das partículas do tipo *strand* foi convertida em partículas do tipo *sliver* (FIGURAS 11a e 11b). Posteriormente, essas partículas foram conduzidas a um classificador automático para a remoção dos finos, utilizando peneiras de 8 e 30 mesh, com aberturas de 2,36 mm e 0,6 mm, respectivamente.

FIGURA 11 - PARTÍCULAS STRANDS E SLIVERS de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp.



A) Slivers de *E. badjensis*; b) Slivers de *Pinus* spp.; c) Strands de *E. badjensis*; d) Strands de *Pinus* spp. FONTE: O autor (2020).

Por sua vez, o adesivo Fenol-formaldeído (FF) foi doado pela empresa GPC e apresentava as características apresentadas na tabela 1:

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO ADESIVO FENOL-FORMALDEÍDO (FF)

Parâmetros da resina	Resultados
Teor de sólidos (%)	53,00
Viscosidade (cP)	492,00
pH	12,50
Gel time (minutos)	7,10
Massa específica (g/cm³)	1,26

pH: potencial de hidrogênio.

FONTE: O autor (2020).

3.2 Massa específica básica da madeira

Para a determinação da massa específica básica da madeira, foi obtido o volume saturado dos corpos-de-prova, pelo método de determinação por pesagem e a massa seca após secagem em estufa a 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Com a massa seca e o volume saturado, determinou-se a massa específica básica por meio da equação 1:

$$\rho = M0/V_{\text{saturado}} \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

ρ : Massa específica básica (g/cm^3);

$M0$: Massa seca em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (g);

V_{saturado} : Volume saturado (cm^3).

3.3 Avaliação dos parâmetros da qualidade do adesivo

Os parâmetros de qualidade do adesivo fenol-formaldeído foram avaliados conforme os seguintes procedimentos:

a) Teor de sólidos

O teor de sólidos do adesivo foi determinado após a secagem de 1g de adesivo durante 3 horas em estufa a 100°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

b) Viscosidade

A viscosidade foi determinada por meio de um viscosímetro de Brookfield.

c) pH

O pH do adesivo foi determinado por meio de um phmetro calibrado em soluções tampão de 7,4 e 10.

d) Gel Time

O tempo de gelatinização do adesivo foi determinado em um tubo de ensaio com a utilização de um Gel timer.

e) Massa específica

A massa específica do adesivo foi determinada pela relação entre a massa e o volume do adesivo.

3.4 Preparação das partículas

Para o cálculo das variáveis relacionadas a geometria das partículas, foram medidas com um paquímetro digital, a espessura, o comprimento e largura de 100 partículas de cada tipo utilizado no estudo, escolhidas de forma aleatória.

O Índice de esbeltez foi calculado pela relação entre o comprimento e espessura das partículas e a razão de planicidade foi calculada pela relação entre a largura e espessura das partículas.

3.5 Produção dos painéis

Para o cumprimento dos objetivos da pesquisa, o delineamento foi dividido em duas fases experimentais. A primeira consistiu no estudo dos efeitos das diferentes composições de camadas e tipos de partículas sobre os painéis Aglo/OSB. Por sua vez, a segunda fase experimental foi pertinente ao estudo dos efeitos da modificação térmica sobre os painéis Aglo/OSB.

Os painéis da primeira fase foram produzidos conforme plano experimental apresentado na tabela 2. Para cada tratamento foram produzidos 3 painéis.

TABELA 2 - PLANO EXPERIMENTAL

Tratamento	Tipo de painel	Camadas externas	ME CE (g/cm ³)	Camada interna	ME CI (g/cm ³)	DC
1	Aglomerado	<i>Slivers Pinus</i> spp.	0,700	-	-	Camada única
2	Aglomerado	<i>Slivers E. badjensis</i>	0,700	-	-	Camada única
3	OSB	<i>Strands Pinus</i> spp.	0,700	<i>Strands Pinus</i> spp.	0,700	20/60/20
4	OSB	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	20/60/20
5	Aglo/OSB	<i>Slivers Pinus</i> spp.	0,900	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	20/60/20
6	Aglo/OSB	<i>Slivers Pinus</i> spp.	0,900	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	15/70/15
7	Aglo/OSB	<i>Slivers Pinus</i> spp.	0,900	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	10/80/10
8	Aglo/OSB	<i>Slivers E. badjensis</i>	0,900	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	20/60/20
9	Aglo/OSB	<i>Slivers E. badjensis</i>	0,900	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	15/70/15
10	Aglo/OSB	<i>Slivers E. badjensis</i>	0,900	<i>Strands E. badjensis</i>	0,700	10/80/10

NOTA: DC: Disposição de camadas; ME CI: Massa específica da camada interna; ME CE: Massa específica das camadas externas. Os painéis Aglo/OSB e Aglomerados foram produzidos com partículas dispostas de forma aleatória e os painéis OSB foram produzidos com as partículas dispostas de forma orientada em todas as camadas. FONTE: O autor (2020).

Os tratamentos 1 a 4 correspondem aos painéis testemunhas. Já os tratamentos 5 a 10 correspondem à primeira parte experimental (Análise da composição de camadas).

Para a produção dos painéis, as partículas foram secas em estufa ao teor de umidade médio de 4% e conduzidas a uma encoladeira (FIGURA 12a) para aplicação de 1% de parafina e 6% de adesivo fenol-formaldeído com base na massa seca das partículas.

Posteriormente, as partículas encoladas foram encaminhadas para a formação do colchão e pré-prensagem em uma caixa formadora com dimensões de 48 cm x 48 cm (FIGURAS 12b). A espessura nominal dos painéis foi estabelecida com espaçador de 1,3 cm.

FIGURA 12 - PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS.



a) Encoladeira utilizada para a aplicação do adesivo; b) Caixa formadora utilizada na formação do colchão e pré-prensagem c) Prensa a quente d) Esquadrejamento dos painéis.

FONTE: O autor (2020).

Após passar pela etapa de pré-prensagem, o colchão de partículas foi prensado (FIGURA 12c) durante 8 minutos, com temperatura de 180°C e pressão específica de 4,0 MPa.

Os painéis testemunhas foram produzidos com a massa específica nominal de 0,700 g/cm³ para todas as camadas. Já para os painéis mistos Aglo/OSB, a massa específica nominal foi de 0,700 g/cm³ para a camada interna e 0,900 g/cm³ para as camadas externas. As massas específicas nominais das diferentes camadas foram calculadas com base na massa e volume após acondicionamento e nas dimensões do painel (APÊNDICE).

Após a prensagem, os painéis foram esquadrejados (FIGURA 12d) e acondicionados à temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5 % até a sua estabilização ao teor de umidade médio próximo a 12%.

3.6 Modificação térmica

Para a realização da segunda fase experimental, foi escolhida a composição de camadas *sliver / strand / sliver* de 10%/80%/10% com *Eucalyptus badjensis* nas camadas externas, uma vez que, esta composição apresentou os melhores valores para as propriedades físicas e mecânicas na primeira fase. Desse modo, para a comparação, foram utilizados os painéis testemunhas (Aglomerado, OSB e Aglo/OSB - 10%/80%/10%) produzidos com *Eucalyptus badjensis*.

Os painéis destinados a segunda fase experimental (18 painéis) foram modificados termicamente em uma prensa a quente, conforme o plano experimental apresentado na tabela 3:

TABELA 3 - PLANO EXPERIMENTAL DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA DOS PAINÉIS

Tratamento	Tempo (Min)	Temperatura (°C)
12	12	220
13	10	220
14	12	200
15	10	200
16	12	180
17	10	180

FONTE: O autor (2020).

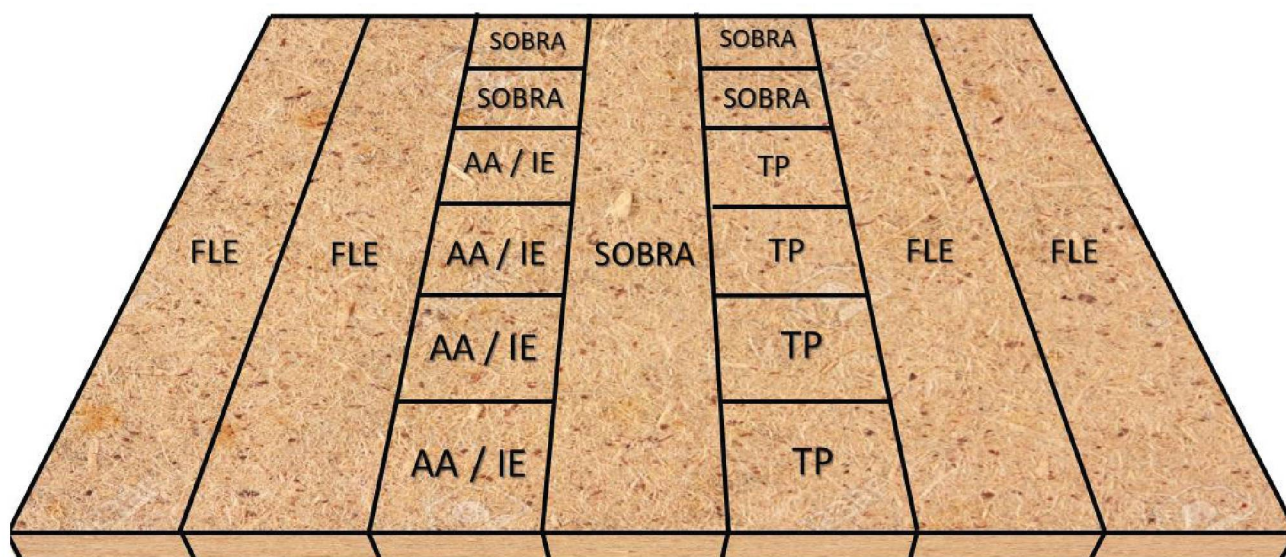
Para promover o contato adequado entre os pratos da prensa e o painel, bem como facilitar a condução do calor sem compressão excessiva, foi aplicada uma pressão de 0,05 MPa, conforme sugerido por Mendes (2010).

Após a modificação térmica, os painéis foram novamente climatizados conforme os procedimentos da norma NBR 14.660 (ABNT, 2004).

3.7 Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Para a análise das propriedades físicas e mecânicas, foram retirados de cada painel quatro corpos-de-prova para ensaios de massa específica aparente, quatro para absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, quatro para flexão estática e quatro para a tração perpendicular à superfície (FIGURA 13).

FIGURA 13 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA DOS PAINÉIS MISTOS AGLO/OSB E AGLOMERADOS.

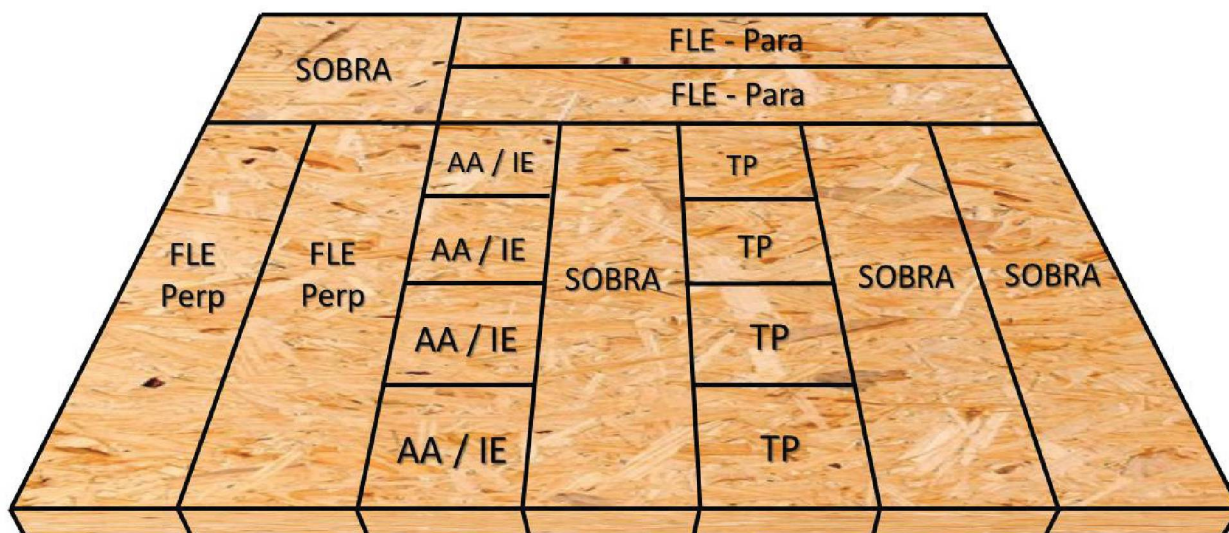


Em que: FLE: Resistência a flexão estática; AA / IE: Absorção de água e inchamento em espessura 2 e 24 horas; TP: Resistência à tração perpendicular.

FONTE: O autor (2020).

Por sua vez, os corpos-de-prova dos painéis OSB foram retirados conforme esquema de corte apresentado na figura 14.

FIGURA 14 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA DOS PAINÉIS OSB



Em que: FLE - Perp: Flexão estática no sentido perpendicular; FLE - PARA: Flexão estática para o sentido paralelo. AA / IE: Absorção de água e Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão; TP: Resistência a tração perpendicular.

Fonte: O autor (2020).

Os ensaios físicos e mecânicos dos painéis (FIGURA 15) foram conduzidos conforme os procedimentos descritos nas normas europeias, EN 323 (EUROPEAN STANDARD, 1993), EN 317 (EUROPEAN STANDARD, 2002), EN 319 (EUROPEAN STANDARD, 2002) e EN 310 (EUROPEAN STANDARD, 2002), respectivamente.

FIGURA 15 - ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS



a) Massa específica aparente; b) Inchamento em espessura; c) Absorção de água; d) Flexão estática; e/f) Tração perpendicular à superfície.
FONTE: O autor (2020).

Por sua vez, a razão de compactação foi calculada utilizando a equação 2.

$$Rc = M_{Ep}/M_{Em} \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

RC: Razão de compactação;

M_{Ep} : Massa específica do painel (g/cm^3);

M_{Em} : Massa específica da madeira (g/cm^3).

3.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Bartlett para a verificação da normalidade e homogeneidade dos dados, respectivamente. Nos casos em que não foi constatada homogeneidade e normalidade dos dados, foi realizada a transformação matemática do tipo BoxCox.

O efeito das camadas e espécies foi avaliado por meio de análise fatorial (3 camadas x 2 espécies) e da comparação com os tratamentos testemunhas. Já a análise dos efeitos da modificação térmica foi realizada por meio de análise fatorial (3 temperaturas x 2 tempos de exposição) e da comparação com painéis testemunhas. Pelo fato de a análise dos dados não demonstrar interação entre as variáveis em nenhuma das propriedades, os dados foram analisados separadamente.

Em função de os tratamentos apresentarem massas específicas diferentes, foi realizada a análise de covariância com as médias ajustadas à massa específica dos painéis. Todos os tratamentos foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de confiança de 95%.

Pelo fato de os painéis Aglo/OSB apresentarem finalidade estrutural e serem produzidos com partículas *strands* e *slivers* dispostas de forma aleatória, os valores médios foram comparados com os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) de aglomerado, EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) de OSB, na categoria OSB 3, para painéis estruturais para uso em condições úmidas, e CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) de *waferboard* e OSB, na categoria R1 para painéis com partículas dispostas de forma aleatória.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa específica básica da madeira

Os valores médios de massa específica básica da madeira de *Eucalyptus badjensis*, por árvore, estão apresentados na tabela 4:

TABELA 4 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus badjensis*

Árvore	Massa específica básica (g/cm ³)
1	0,514 (4,04)
2	0,505 (4,74)
3	0,481 (6,62)
4	0,519 (3,00)
Média	0,505 (5,41)

CV: Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses.

FONTE: O autor (2020).

O valor médio de massa específica básica da madeira de *Eucalyptus badjensis* foi de 0,505 g/cm³, sendo maior que o encontrado por Pereira (2016), que obteve o valor médio de 0,476 g/cm³ para árvores de *Eucalyptus badjensis* provenientes de um povoamento de 6 anos de idade localizado no município de Lages - SC. Essa variação pode ser atribuída à diferença de idade das madeiras, uma vez que a madeira do presente estudo apresentava 4 anos mais que a estudada por Pereira (2016).

De acordo com Sette Jr. et al. (2012), com o avanço da idade, geralmente há um aumento na massa específica da madeira, ocasionada pelas mudanças do meristema cambial e das exigências mecânico-fisiológicas pertinentes ao processo de crescimento das árvores. Na madeira de *Eucalyptus*, essas mudanças são evidenciadas pela redução da frequência e do número de vasos, além do aumento da espessura da parede das fibras, conforme é formado o lenho adulto no tronco das árvores.

Os resultados de massa específica básica da madeira de *Pinus* spp. estão apresentados na tabela 5:

TABELA 5 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A MADEIRA DE *Pinus* spp.

Tábua	Massa específica básica (g/cm³)
1	0,463 (5,02)
2	0,465 (5,38)
3	0,403 (7,01)
4	0,417 (6,43)
Média	0,437 (5,94)

NOTA: CV: Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses.

FONTE: O autor (2020).

O valor médio de massa específica básica da madeira de *Pinus* spp. foi de 0,437 g/cm³. Em comparação com os resultados encontrados na literatura, o valor médio foi próximo ao obtido por Mattos et al. (2011), que encontraram o valor médio de 0,450 g/cm³ para árvores de *Pinus taeda* provenientes de um povoamento com 13 anos de idade localizado em Quedas do Iguaçu - PR.

Os valores médios de massa específica básica das madeiras de *Eucalyptus badjensis* e de *Pinus* spp. podem ser considerados adequados para a produção de painéis particulados. De acordo com Moslemi (1974), madeiras com massa específica de até 0,550 g/cm³ são as mais recomendadas para a produção de painéis de partículas, pois atingem a razão de compactação mínima de 1,3, necessária para que ocorra a compactação das partículas e densificação do painel até a espessura final.

4.2 Avaliação dimensional das partículas

Os resultados dos elementos dimensionais das partículas do tipo *sliver* estão apresentados na tabela 6:

TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DOS ELEMENTOS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS DO TIPO *Sliver* DE *Eucalyptus badjensis* E *Pinus* spp.

Tipo	C (mm)	L (mm)	E (mm)	IES	RP
<i>E. badjensis</i>	10,50 (40,81)	1,18 (32,86)	0,47 (30,09)	23,36 a (11,74)	2,59 a (11,00)
<i>Pinus</i> spp.	11,24 (43,48)	1,83 (39,76)	0,60 (37,12)	19,71 b (14,74)	3,08 b (12,24)
Marra (1992)	6,35 a 76,20	0,13 a 1,27	0,13 a 1,27		

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. C: Comprimento; L: Largura; E: Espessura; IES: Índice de esbeltez; RP: Razão de planicidade.

FONTE: O autor (2020).

Os valores de comprimento, largura e espessura das partículas de *Eucalyptus badjensis* foram de 10,50 mm, 1,18 mm e 0,47 mm, respectivamente. Esses valores foram compatíveis com a faixa de valores descrita por Marra (1992).

Para as partículas de *Pinus* spp., os valores de comprimento, largura e espessura das partículas foram de 11,24 mm, 1,83 mm e 0,60 mm, respectivamente. Na comparação com a faixa descrita por Marra (1992), os valores de comprimento e espessura foram compatíveis, enquanto o valor de largura foi superior ao descrito pelo autor.

Os valores médios de índice de esbeltez das partículas *sliver* foram de 23,36 para *Eucalyptus badjensis* e de 19,71 para *Pinus* spp. Foi constatada diferença estatística significativa, sendo que as partículas de *Eucalyptus badjensis* apresentaram os maiores valores.

Na literatura, os resultados de índice de esbeltez apresentam grande variação. Para partículas *slivers*, Iwakiri (1989) obteve o índice de esbeltez de 30,40, estudando partículas de *Pinus* spp.; Trianoski (2010), para partículas de *Pinus taeda*, encontrou o valor médio de 10,78 e Pereira (2016) obteve 21,08 para partículas de *Eucalyptus badjensis*.

Foi constatada diferença estatística significativa para a razão de planicidade das partículas *sliver*, sendo que os valores médios foram de 2,59 para as partículas de *Eucalyptus badjensis* e de 3,08 para as partículas de *Pinus* spp.

De acordo com Saldanha (2004), partículas com maior razão de planicidade facilitam a aplicação de adesivo, influenciando diretamente a distribuição do adesivo, a formação de colchão e a área de contato entre as partículas.

Na literatura, Pereira (2016) obteve os valores de razão de planicidade de 11,07 para *Pinus* spp. e 7,09 para *Eucalyptus badjensis*. Por sua vez, Trianoski (2010) encontrou a razão de planicidade de 2,40 para *Pinus taeda*.

De acordo com Trianoski (2010), as variações nas características das partículas podem estar relacionadas às diferenças nas propriedades das madeiras, aos tipos de equipamentos utilizados para obtenção dos cavacos, além da espessura nominal das partículas.

Os valores médios dos elementos dimensionais das partículas tipo *strand* de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp. estão apresentados na tabela 7:

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DOS ELEMENTOS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS DO TIPO *Strand* DE *Eucalyptus badjensis* E *Pinus* spp.

Espécie	C (mm)	L (mm)	E (mm)	IES	RP
<i>E. badjensis</i>	78,29 (44,13)	18,49 (16,71)	0,81 (15,90)	106,62 a (24,83)	25,12 a (23,87)
<i>Pinus</i> spp.	70,37 (46,19)	15,86 (17,20)	0,82 (20,06)	96,66 b (26,40)	22,22 b (31,91)
Marra (1992)	12,70 a 76,20	6,35 a 25,40	0,25 a 0,63		

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. C: Comprimento; L: Largura; E: Espessura; IES: Índice de esbeltez; RP: Razão de planicidade.

FONTE: O autor (2020).

Os valores de comprimento, largura e espessura das partículas de *Eucalyptus badjensis* foram de 78,29 mm, 18,49 mm e 0,81 mm, respectivamente. Em relação à faixa de valores descrita por Marra (1992), os valores de comprimento e espessura foram superiores, enquanto o valor de largura foi compatível.

Para as partículas de *Pinus* spp., os valores de comprimento, largura e espessura das partículas foram de 70,37 mm, 15,86 mm e 0,82 mm, respectivamente. Na comparação com a faixa de valores descrita por Marra (1992), os valores de comprimento e largura foram compatíveis, já o valor de espessura foi superior ao descrito pelo autor.

Os valores médios de índice de esbeltez foram de 106,62 para as partículas de *Eucalyptus badjensis* e de 96,66 para as partículas de *Pinus* spp. Foi constatada diferença estatística significativa, sendo que os maiores valores foram obtidos para as partículas de *Eucalyptus badjensis*.

Segundo Kelly (1977), a utilização de partículas com índices de esbeltez acima de 100 ocasiona um aumento significativo na resistência à flexão estática. Contudo, de acordo com Moslemi (1974), partículas com maiores índices de esbeltez podem gerar painéis com menor estabilidade dimensional.

Sendo assim, é esperado que, os painéis produzidos com *strands* de *Eucalyptus badjensis* apresentem maiores valores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura, entretanto, esses painéis podem apresentar menor estabilidade dimensional.

Na literatura, Rosa (2017), analisando partículas do tipo *strand*, obteve índices de esbeltez entre 127,95 e 142,83 para partículas de cinco espécies de *Eucalyptus* e de 123,49 para *Pinus taeda*.

Foi constatada diferença estatística significativa para a razão de planicidade, sendo que os valores foram de 25,12 para as partículas de *Eucalyptus badjensis* e 22,22 para as partículas de *Pinus* spp. Desse modo, por apresentarem maior razão de planicidade, é esperado que, os painéis produzidos com partículas *strand* de *Eucalyptus badjensis* apresentem uma encolagem mais eficiente.

Os resultados de razão de planicidade foram menores que os encontrados por Rosa (2017), que obteve valores entre 31,35 e 35,83 para partículas do tipo *strand* de cinco espécies de *Eucalyptus* e de 39,61 para *Pinus taeda*.

Esses resultados confirmam a grande variabilidade nas características das partículas, ocasionada por diversos fatores, como propriedades da madeira, equipamentos utilizados e espessura nominal das partículas.

4.3 Propriedades dos painéis produzidos com diferentes espécies e composições de camadas

4.3.1 Massa específica aparente e razão de compactação dos painéis

Na tabela 8, estão apresentados os valores médios de massa específica aparente e razão de compactação dos painéis:

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS

Tratamento	MEA (g/cm ³)	ME nominal (g/cm ³)	Razão de compactação
Aglomerado <i>Pinus</i> spp.	0,689 a (5,21)	0,700	1,604 cd (5,89)
Aglomerado <i>E. badjensis</i>	0,692 ab (6,59)	0,700	1,375 a (7,97)
OSB <i>Pinus</i> spp.	0,717 abc (8,80)	0,700	1,648 d (7,72)
OSB <i>E. badjensis</i>	0,709 abc (5,09)	0,700	1,439 ab (5,93)
Aglo/OSB <i>Pinus</i> spp. 20/60/20	0,759 c (6,70)	0,760	1,593 cd (5,77)
Aglo/OSB <i>Pinus</i> spp. 15/70/15	0,737 abc (5,69)	0,740	1,561 c (5,13)
Aglo/OSB <i>Pinus</i> spp. 10/80/10	0,713 abc (5,34)	0,720	1,506 bc (5,03)
Aglo/OSB <i>E. badjensis</i> 20/60/20	0,749 bc (6,00)	0,760	1,482 abc (6,76)
Aglo/OSB <i>E. badjensis</i> 15/70/15	0,734 abc (6,51)	0,740	1,416 ab (6,20)
Aglo/OSB <i>E. badjensis</i> 10/80/10	0,720 abc (8,80)	0,720	1,401 a (9,84)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses; MEA: Massa específica aparente; ME nominal: Massa específica nominal.

FONTE: O autor (2020).

Para a massa específica aparente, os valores médios obtidos variaram de 0,689 g/cm³ (Aglomerado *Pinus* spp.) a 0,759 g/cm³ (Aglo/OSB *Pinus* spp. 20/60/20) e apresentaram uma pequena variação em relação a massa específica nominal.

De acordo com Iwakiri et al. (2012), as diferenças entre massa específica nominal e massa específica aparente podem ser atribuídas às perdas de materiais durante a formação dos painéis e ao retorno em espessura após a prensagem a quente.

Conforme a classificação da NBR 14810 (ABNT, 2010), com exceção dos painéis mistos Aglo/OSB de *Pinus* spp. na composição 20/60/20, os demais tratamentos podem ser classificados como painéis de média massa específica (0,550 g/cm³ a 0,750 g/cm³).

Já para a razão de compactação, os valores médios obtidos variaram de 1,370 (Aglomerado *E. badjensis*) a 1,648 (OSB *Pinus* spp.). Desse modo, todos os tratamentos atingiram o valor mínimo de 1,3 recomendado por Maloney (1993), indicando bom contato entre as partículas.

4.3.2 Absorção de água e inchamento em espessura

4.3.2.1 Painéis produzidos com partículas de *Pinus* spp. nas camadas externas

Na tabela 9, estão apresentados os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados, OSB e Aglo/OSB de *Pinus* spp., nas camadas externas:

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM *Pinus* spp. NAS CAMADAS EXTERNAS

Tratamento	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
Aglomerado	29,49 b (15,09)	63,41 c (17,56)	10,57 b (21,84)	24,85 b (18,90)
OSB	28,77 b (16,43)	63,37 c (18,74)	13,34 b (20,36)	33,07 c (18,91)
20/60/20	24,43 a (26,01)	58,80 b (12,82)	9,99 a (23,13)	23,04 b (26,55)
15/70/15	24,47 a (17,18)	42,00 a (12,10)	7,36 a (27,29)	11,60 a (24,28)
10/80/10	21,62 a (18,09)	44,99 ab (11,82)	6,59 a (22,82)	10,53 a (13,16)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água após 2 horas; AA24h: Absorção de água após 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura após 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura após 24 horas.

FONTE: O autor (2020).

Para os painéis de *Pinus* spp. nas camadas externas, os valores médios de absorção de água após 2 horas variaram de 21,62% (10/80/10) a 29,49% (Aglomerado). Já para absorção de água após 24 horas, os valores médios variaram de 42,00% (15/70/15) a 63,41% (Aglomerado).

Os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram os menores valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas, diferindo estatisticamente dos painéis OSB e aglomerados. Este fato pode ser explicado pela utilização de partículas *strands* de *Eucalyptus badiensis* na camada interna dos painéis mistos Aglo/OSB, resultando em painéis com menor razão de compactação, compostos de menor quantidade de partículas e área superficial das mesmas, proporcionando maior estabilidade dimensional dos painéis.

Para o inchamento em espessura, os valores médios variaram de 6,59% (10/80/10) a 13,34% (OSB) após 2 horas de imersão em água, e de 10,53% (10/80/10) a 33,07% após 24 horas de imersão em água (OSB).

Os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram os menores valores médios de inchamento em espessura, tendo como exceção a composição 20/60/20, que foi estatisticamente semelhante ao aglomerado para o inchamento em espessura após 24 de imersão.

Este fato pode ser explicado pela utilização de partículas *strands* de *Eucalyptus badjensis* na camada interna desses painéis, tendo em vista que essa espécie apresenta massa específica básica maior que a da madeira de *Pinus* spp.

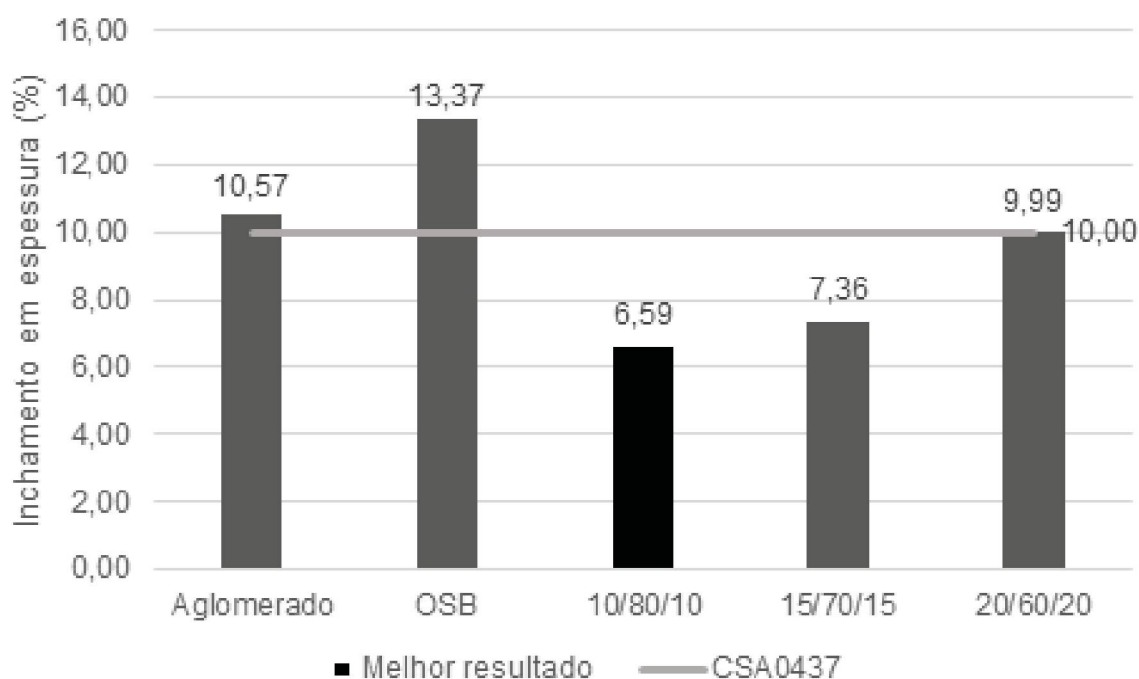
Segundo Iwakiri (2005), espécies com maior massa específica básica, em decorrência da menor liberação das tensões de compressão ocorridas na prensagem, geralmente apresentam menores valores de inchamento em espessura quando comparados com espécies de menor massa específica.

Em comparação com a literatura, os valores obtidos para os painéis com *Pinus* spp. na camada externa são compatíveis com os encontrados em outros estudos, sendo semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2012) que, para painéis aglomerados de *Pinus* spp., encontraram os valores médios de absorção de água de 21,3% após 2 horas e 66,5% após 24 horas, além dos valores médios de inchamento em espessura de 7,7% após 2 horas e 29,3% após 24 horas.

Para os painéis OSB, os valores foram ligeiramente menores que os encontrados por Saldanha e Iwakiri (2009) que, para painéis de *Pinus taeda*, obtiveram os valores médios de absorção de água de 30,38% após 2 horas e 58,38% após 24 horas, sendo os valores médios de inchamento em espessura de 29,43% após 2 horas e 42,78% após 24 horas.

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 2 horas dos painéis de *Pinus* spp. e a norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) estão apresentados no gráfico 1:

GRÁFICO 1 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS COM *Pinus* spp. E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

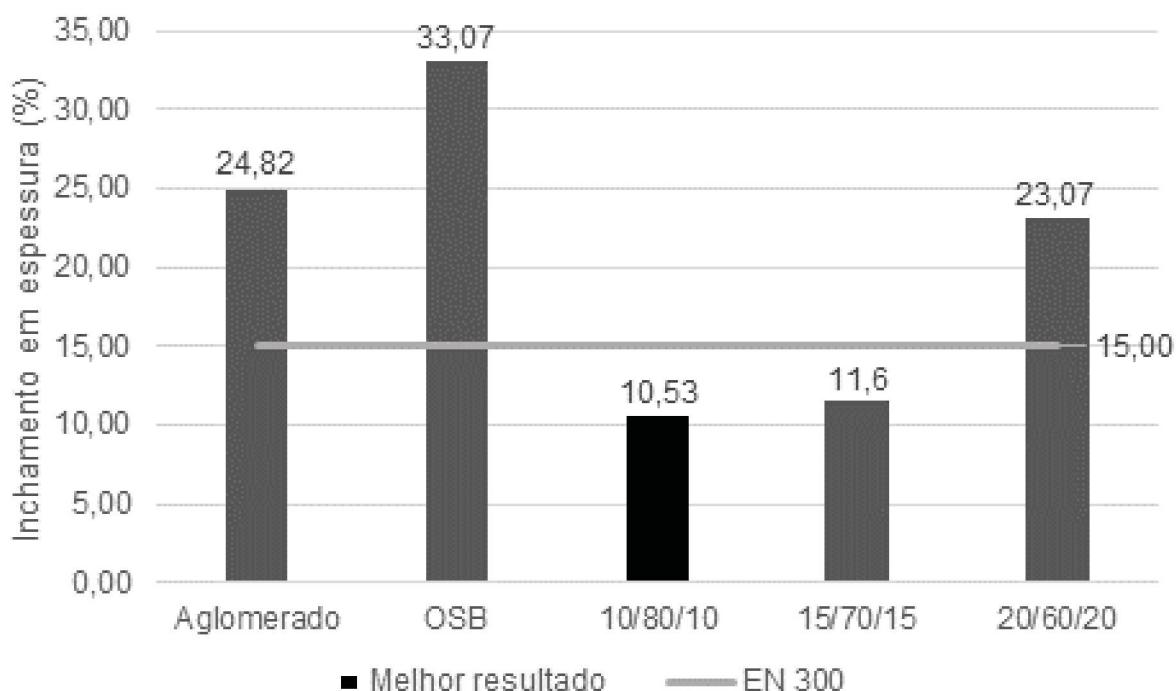


FONTE: O autor (2020).

Em relação à norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) para o inchamento em espessura após 2 horas, os painéis mistos Aglo/OSB atingiram os valores mínimos recomendados. Já os painéis OSB e Aglomerado apresentaram valores médios maiores que os recomendados.

O comparativo entre valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis de *Pinus* spp. e a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) está apresentado no gráfico 2:

GRÁFICO 2 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS COM *Pinus* spp. E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)



FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 24 horas, somente os painéis mistos Aglo/OSB, nos tratamentos 10/80/10 e 15/70/15, obtiveram valores médios em conformidade com a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

4.3.2.2 Painéis produzidos com partículas de *Eucalyptus badjensis* nas camadas externas

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados, OSB e Aglo/OSB de *Eucalyptus badjensis*, estão apresentados na tabela 10:

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM *Eucalyptus badiensis* NAS CAMADAS EXTERNAS

Tratamento	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
Aglomerado	17,04 b (16,78)	56,67 c (18,74)	7,12 b (23,37)	25,12 b (17,44)
OSB	12,52 a (18,16)	40,45 a (13,21)	4,85 a (20,72)	9,15 a (17,55)
20/60/20	16,10 ab (20,83)	47,11 b (19,39)	4,51 a (21,59)	15,24 a (27,12)
15/70/15	13,14 a (20,76)	46,21 b (21,70)	4,09 a (25,61)	13,82 a (25,49)
10/80/10	12,81 a (25,04)	44,03 ab (19,46)	3,85 a (16,05)	13,39 a (13,16)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água em 2 horas; AA24h: Absorção de água em 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura em 24 horas.

FONTE: O autor (2020).

Para os painéis de *Eucalyptus badiensis*, os valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão variaram de 12,81% (10/80/10) a 17,04% (aglomerado). Para absorção de água após 24 horas de imersão, os valores médios variaram de 44,03% (10/80/10) a 56,67% (Aglomerado).

Foi constatada diferença estatística para a absorção de água dos painéis de *Eucalyptus badiensis*. Os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram resultados estatisticamente semelhantes ou inferiores aos painéis aglomerados nos ensaios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão. Já em comparação com os painéis OSB, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes para o ensaio de absorção de água após 2 horas e estatisticamente semelhantes ou inferiores para a absorção de água após 24 horas de imersão.

Para o inchamento em espessura, foi constatada diferença estatística entre os tratamentos. Os valores médios variaram de 3,85% (10/80/10) a 7,12% (Aglomerado) após 2 horas, e de 9,15% (OSB) a 25,12% (Aglomerado) após 24 horas.

Os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes aos painéis OSB e estatisticamente inferiores aos obtidos para os painéis aglomerados. Esses resultados podem ser explicados pelas características das partículas utilizadas, uma vez que os painéis produzidos com maior quantidade de partículas do tipo *strand* apresentaram os menores valores de inchamento em espessura.

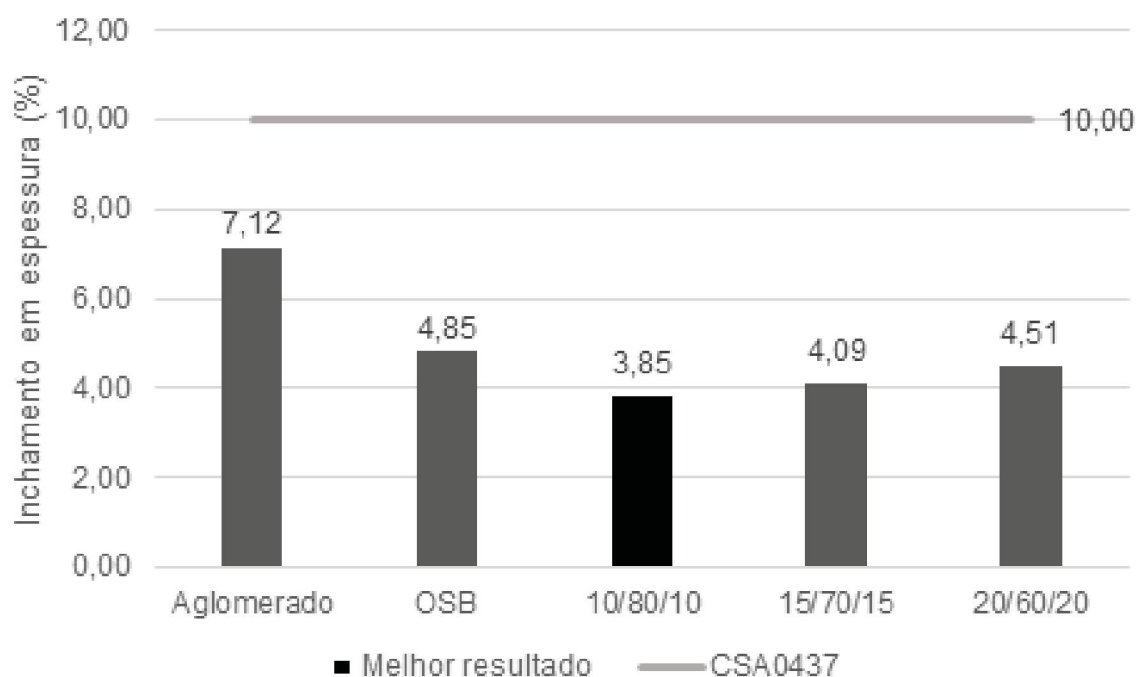
De acordo com Moslemi (1974), o uso de partículas maiores ocasiona uma encolagem mais eficiente, em função de apresentarem menor área superficial específica, por conseguinte, maior disponibilidade de adesivo por área.

Os resultados obtidos para os painéis de *Eucalyptus badjensis* são compatíveis com resultados da literatura para painéis produzidos com espécies do gênero *Eucalyptus*. Os valores médios dos painéis mistos Aglo/OSB foram semelhantes aos encontrados por Cunha et al. (2015) que, para painéis aglomerados de *Eucalyptus benthamii*, obtiveram valores médios de absorção de água de 15,9% após 2 horas e 39,9% após 24 horas, além dos valores médios de inchamento em espessura de 4,2% após 2 horas e 15,4% após 24 horas.

Na comparação com os painéis OSB, os resultados dos painéis mistos Aglo/OSB de *Eucalyptus badjensis* foram semelhantes aos encontrados por Gorski et al. (2015) que, para painéis OSB de *Eucalyptus benthamii*, obtiveram os valores médios de absorção de água de 18,3% após 2 horas e 54,2% após 24 horas, assim como os valores médios de inchamento em espessura de 9,1% após 2 horas e 24,7% após 24 horas.

O comparativo entre valores médios de inchamento em espessura após 2 horas dos painéis *Eucalyptus badjensis* e a norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) está apresentado no gráfico 3:

GRÁFICO 3 - COMPARATIVO ENTRE VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS DE *Eucalyptus badjensis* E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

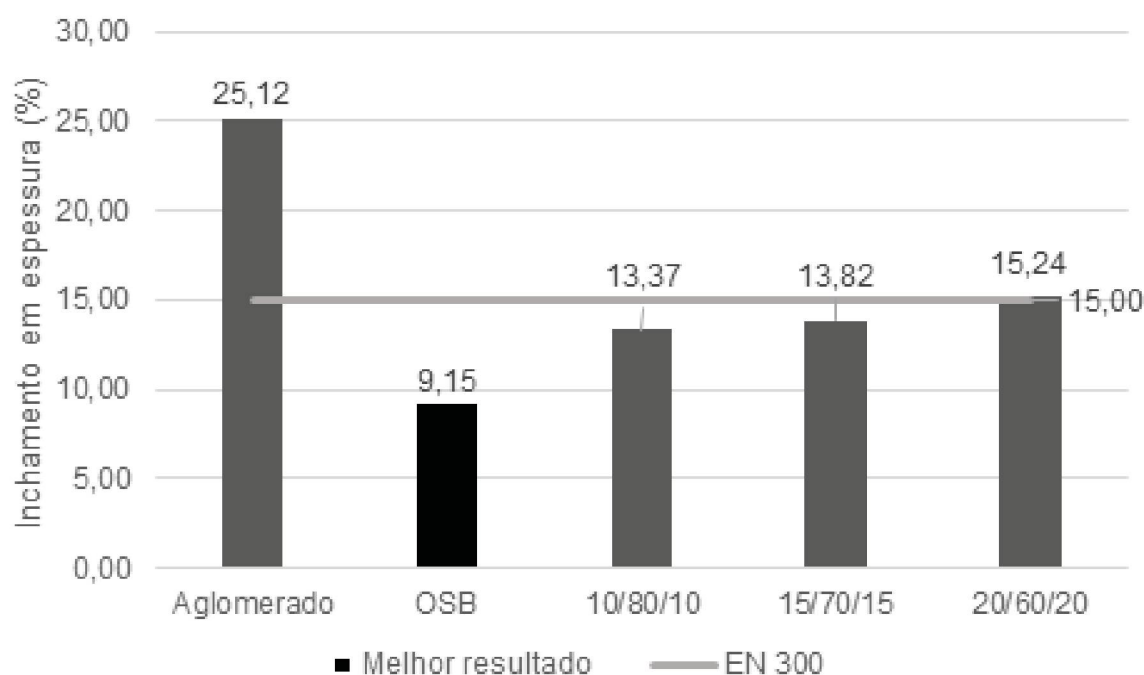


FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 2 horas dos painéis de *Eucalyptus badjensis*, todos os tratamentos atenderam aos valores estabelecidos pela norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

O comparativo entre valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis *Eucalyptus badjensis* e a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) está apresentado no gráfico 4:

GRÁFICO 4 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS DE *Eucalyptus badjensis* E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)



FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 24 horas, somente os painéis aglomerados e os painéis mistos Aglo/OSB na composição 20/60/20 não atingiram os valores recomendados pela norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

4.3.2.3 Efeitos das espécies

Na tabela 11, estão apresentados os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis mistos Aglo/OSB com diferentes espécies na camada externa:

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS MISTOS AGLO/OSB COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA

Espécie	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
<i>Pinus spp.</i>	24,04 b (18,92)	47,53 a (15,78)	7,85 b (23,83)	14,46 a (26,86)
<i>Eucalyptus badjensis</i>	14,68 a (18,58)	46,30 a (16,13)	4,18 a (21,85)	14,38 a (21,36)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre tratamentos da mesma espécie pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água em 2 horas; AA24h: Absorção de água em 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura em 24 horas. FONTE: O autor (2020).

Para a absorção de água e o inchamento em espessura após 2 horas de imersão, os painéis de *Eucalyptus badjensis* apresentaram valores médios estatisticamente inferiores aos produzidos com *Pinus* spp.

Esse resultado pode ser atribuído à maior massa específica da madeira de *Eucalyptus badjensis*, que resulta em painéis com menor razão de compactação e, conseqüentemente, menor quantidade de partículas e área superficial das mesmas, proporcionando maior estabilidade dimensional aos painéis.

Outro fator que pode ter contribuído para esse resultado é o menor teor de extrativos da madeira de *Eucalyptus badjensis*, tendo em vista que partículas de madeira com menores teores de extrativos apresentam uma colagem mais eficiente, resultando em painéis com maior estabilidade dimensional.

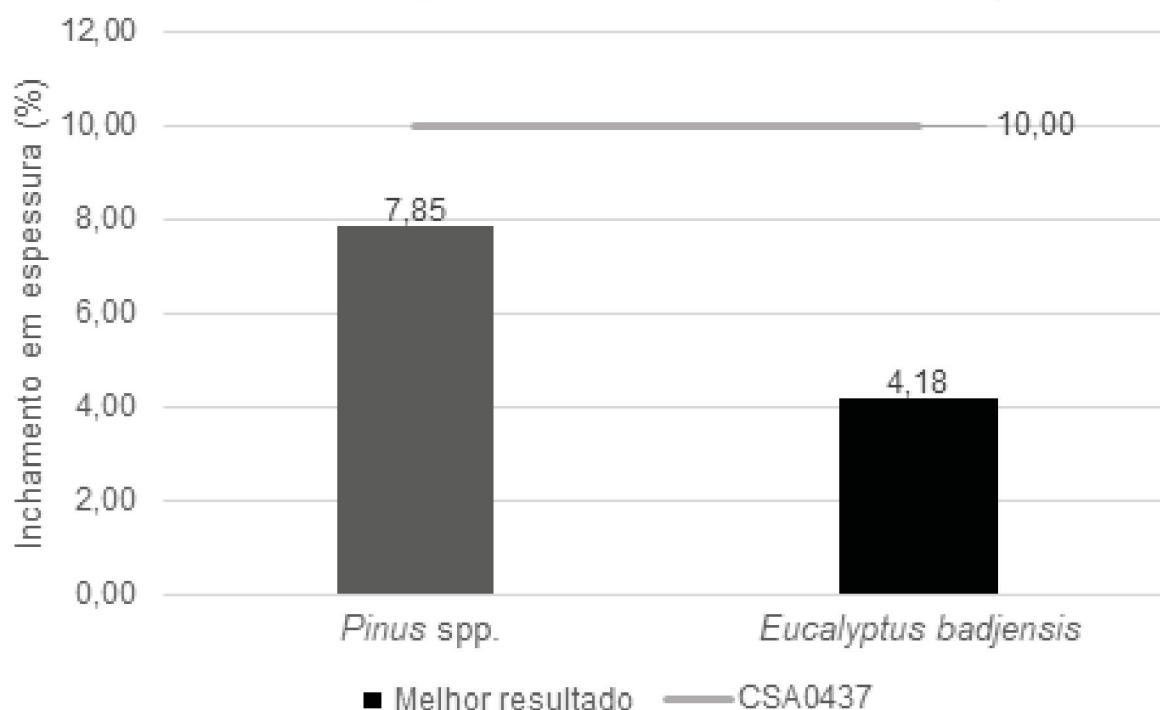
Para absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas, os painéis de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp. apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes.

Na literatura, Gorski et al. (2015) avaliaram painéis OSB de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus* spp. e observaram que os painéis de *Eucalyptus benthamii* apresentaram menores valores médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas que os painéis de *Pinus* spp.

Pereira et al. (2017) estudaram painéis aglomerados de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp. e observaram que os painéis de *Eucalyptus badjensis* apresentaram os menores valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas.

O comparativo entre valores médios de inchamento em espessura após 2 horas dos painéis Aglo/OSB de diferentes espécies nas camadas externas e a norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) está apresentado no gráfico 5:

GRÁFICO 5 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS AGLO/OSB DE DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

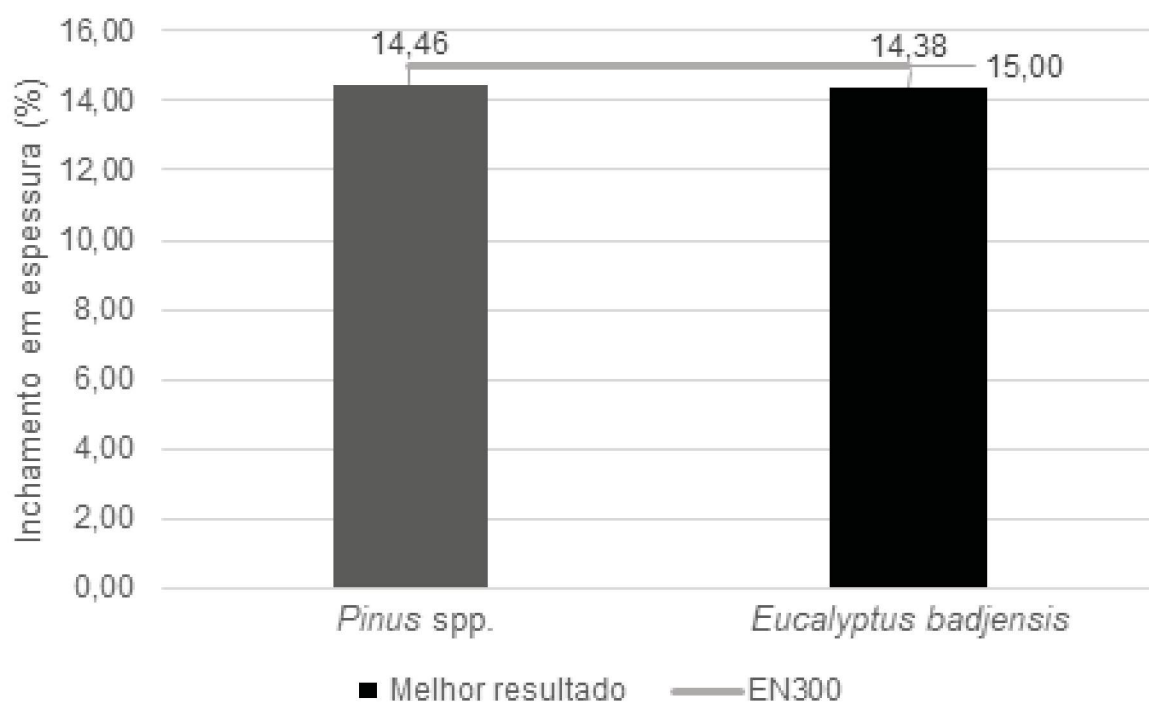


FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 2 horas, tanto os painéis de *Eucalyptus badjensis*, quanto os painéis de *Pinus spp.* atenderam aos valores mínimos estabelecidos pela norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

O comparativo entre valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis Aglo/OSB de diferentes espécies na camada externa e a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) está apresentado no gráfico 6:

GRÁFICO 6 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS AGLO/OSB DE DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).



FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 24 horas, os painéis Aglo/OSB de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus spp.* apresentaram valores médios em conformidade com os requisitos normativos da EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

4.3.2.4 Efeitos das diferentes composições de camadas

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis com diferentes composições de camadas estão apresentados na tabela 12:

TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS

Composição	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
20/60/20	20,60 a (20,74)	52,30 b (12,86)	6,53 a (27,92)	19,20 b (19,20)
15/70/10	18,50 a (24,94)	46,02 a (16,14)	5,69 a (26,22)	13,20 a (29,55)
10/80/10	17,81 a (16,02)	43,27 a (18,02)	5,36 a (19,75)	11,90 a (11,90)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água em 2 horas; AA24h: Absorção de água em 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura em 24 horas.

FONTE: O autor (2020).

Para as diferentes composições de camadas, os valores médios variaram de 17,81% (10/80/10) a 20,60% (20/60/20) para a absorção de água após 2 horas. Já para a absorção de água após 24 horas, os valores médios variaram de 43,27% (10/80/10) a 52,30% (20/60/20).

Para o inchamento em espessura, os valores médios variaram de 5,36% (10/80/10) a 6,53% (20/60/20) após 2 horas, e de 11,90% (10/80/10) a 19,20% (20/60/20) após 24 horas.

Os painéis com diferentes composições de camadas foram estatisticamente semelhantes para a absorção de água e para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água.

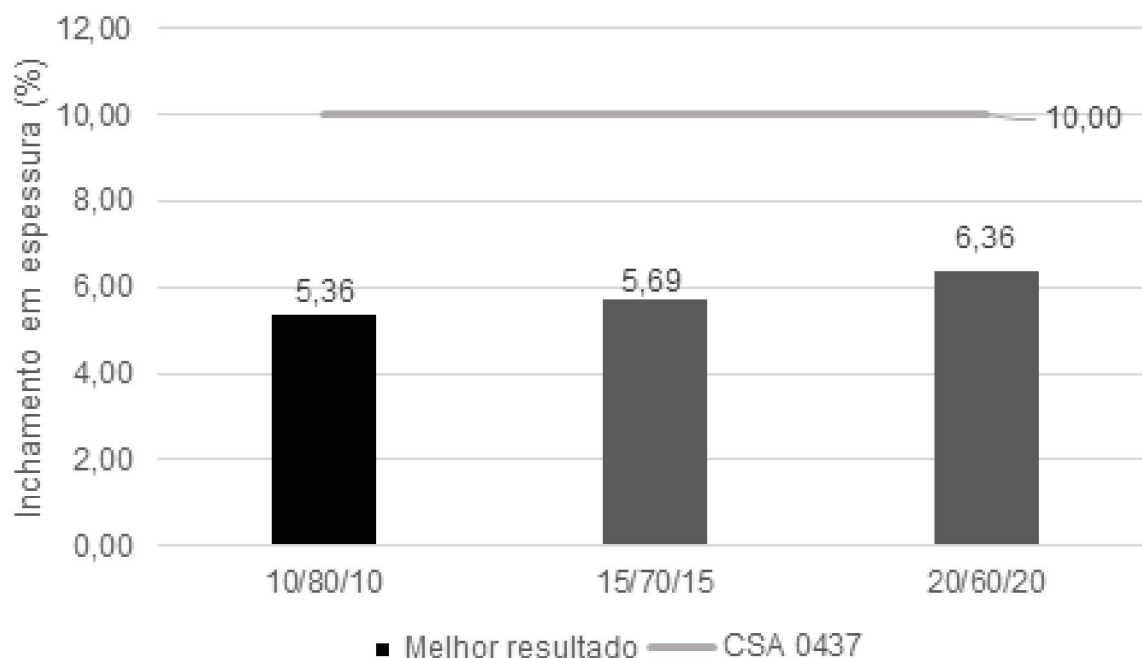
Nos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas, as composições de camadas 10/80/10 e 15/70/15 apresentaram médias estatisticamente inferiores às obtidas para os painéis com composição de 20/60/20.

A redução da absorção de água e inchamento em espessura dos painéis com maior percentual de partículas do tipo *strand* na camada interna pode ser atribuída à sua menor área superficial e consequente aumento na disponibilidade de adesivo entre as partículas.

Na literatura, Trianoski et al. (2016) avaliaram painéis de OSB de *Cryptomeria japonica* nas composições 20/60/20 e 30/40/30, concluindo que as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura não foram afetadas pelas diferentes composições de camadas.

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 2 horas dos painéis de diferentes composições de camadas e a norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) está apresentado no gráfico 7:

GRÁFICO 7 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

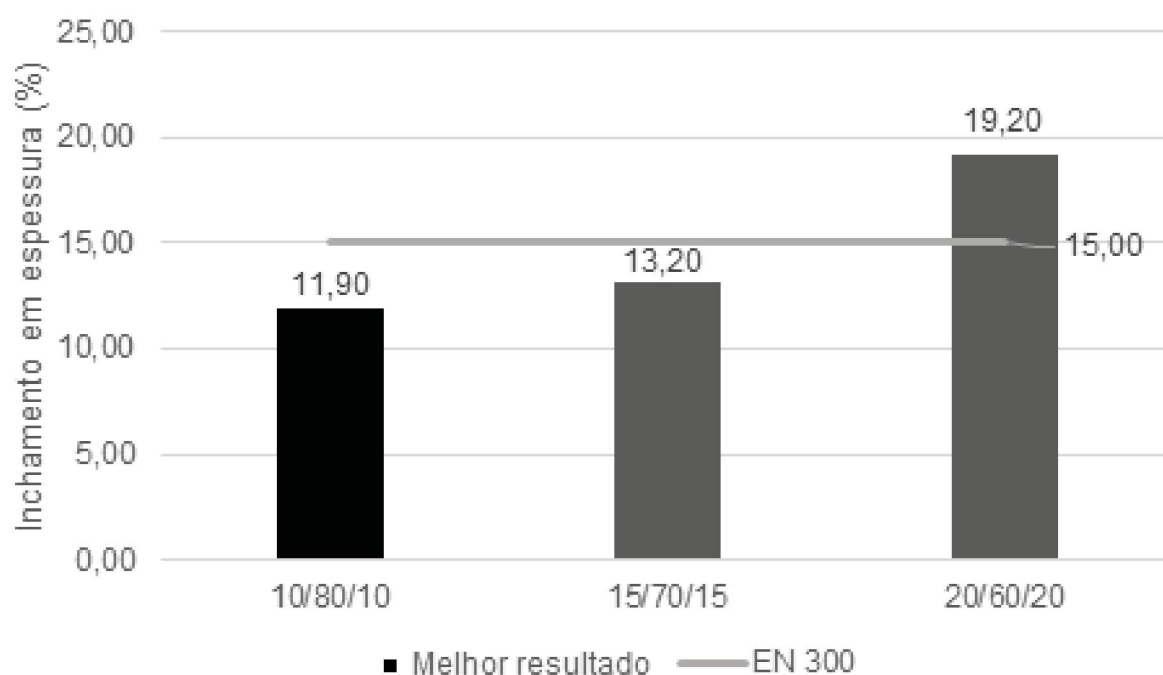


FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 2 horas dos painéis com diferentes composições de camadas, todos os tratamentos apresentaram valores em conformidade com a norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

O comparativo entre valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis de diferentes composições de camadas e a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) está apresentado no gráfico 8:

GRÁFICO 8 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)



FONTE: O autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 24 horas, apenas a composição de camadas 20/60/20 não apresentou valores médios em conformidade com os requisitos normativos da EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

4.3.3 Propriedades mecânicas dos painéis

4.3.3.1 Painéis produzidos com partículas de *Pinus* spp. nas camadas externas

Os valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície dos painéis produzidos com *Pinus* spp. nas camadas externas estão apresentados na tabela 13:

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE, MÓDULO DE RUPTURA E TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM *Pinus* spp. NAS CAMADAS EXTERNAS

Tratamento	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Aglomerado	2005 d (16,01)	17,87 c (15,33)	0,62 a (10,79)
OSB/ para	5988 a (25,30)	38,36 a (13,94)	0,61 a (12,69)
OSB/ perp	3169 b (24,94)	27,86 b (14,63)	
20/60/20	2206 cd (14,41)	19,59 bc (16,55)	0,53 ab (14,96)
15/70/15	2437 cd (19,33)	21,37 bc (19,01)	0,55 ab (9,29)
10/80/10	2850 bc (18,20)	24,74 b (19,07)	0,50 b (15,49)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

Para os painéis de *Pinus* spp. nas camadas externas, os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 2005 MPa (Aglomerado) a 5988 MPa (OSB sentido paralelo). Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 17,87 MPa (Aglomerado) a 38,36 MPa (OSB sentido paralelo) e os valores médios de tração perpendicular à superfície variaram de 0,50 MPa (10/80/10) a 0,62 MPa (Aglomerado).

Os painéis mistos Aglo/OSB de *Pinus* spp. apresentaram valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura estatisticamente semelhantes ou superiores aos obtidos para os painéis aglomerados.

Já em comparação com os painéis OSB, tanto para o módulo de elasticidade, quanto para o módulo de ruptura, os valores médios obtidos para os painéis mistos Aglo/OSB de *Pinus* spp. foram estatisticamente inferiores ou semelhantes.

Esses resultados demonstram a influência positiva da utilização de partículas do tipo *strand* nas camadas externas do painel, associada à disponibilidade de adesivo nessas camadas. De acordo com Geimer (1976), as propriedades de flexão estática de painéis de partículas de madeira aumentam diretamente com o comprimento das partículas e a razão de esbeltez.

Para a tração perpendicular à superfície, os painéis mistos Aglo/OSB foram estatisticamente semelhantes entre si. Em relação aos painéis testemunhas, a composição 10/80/10 apresentou valores médios estatisticamente inferiores aos obtidos para os painéis aglomerados e OSB. Por sua vez, as composições 20/60/20 e 15/70/15 apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes aos obtidos para os painéis testemunhas de aglomerado e OSB.

Na comparação com os resultados da literatura, para o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, os valores médios dos painéis mistos Aglo/OSB com *Pinus* spp. foram maiores que os encontrados por França (2015), que, para painéis aglomerados de *Pinus* spp., obtiveram os valores médios de 1630 MPa para o módulo de elasticidade e de 16,8 MPa para o módulo de ruptura.

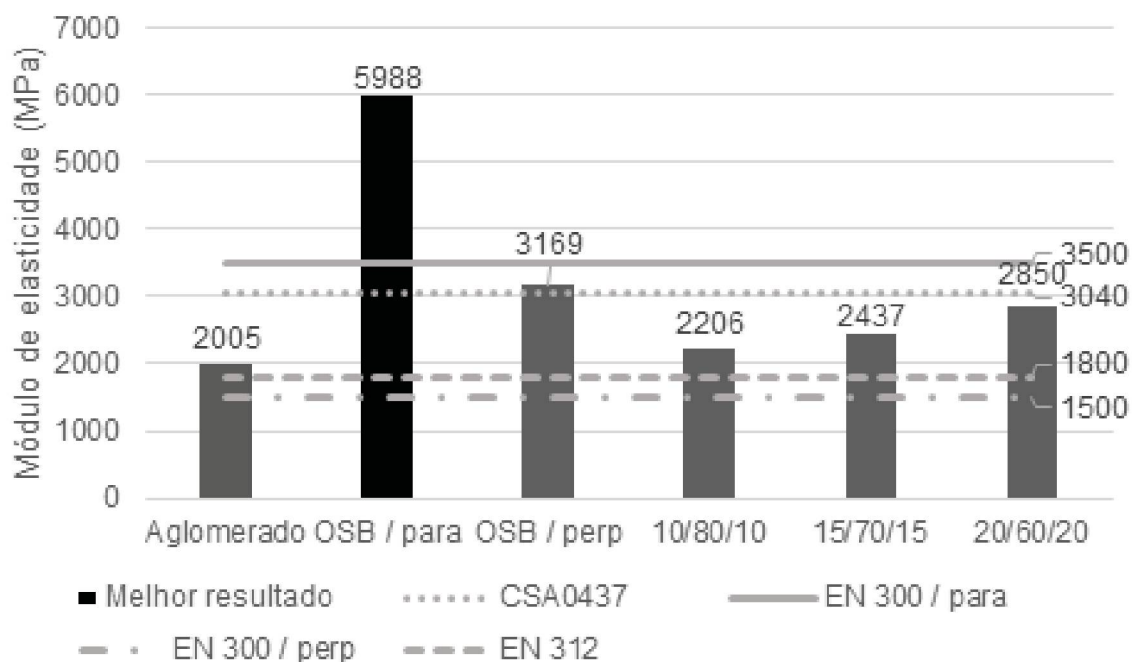
Em relação aos painéis OSB, os valores médios dos painéis mistos Aglo/OSB de *Pinus* spp. foram menores que os encontrados por Mendes et al. (2003). Para painéis de *Pinus taeda*, esses autores obtiveram os valores médios de módulo de elasticidade de 5703 MPa para o sentido paralelo e 4801 MPa para o sentido perpendicular, além de valores médios de módulo de ruptura de 49,13 MPa para o sentido paralelo e 49,81 MPa para o sentido perpendicular MPa

Para a tração perpendicular à superfície, os resultados dos painéis mistos Aglo/OSB de *Pinus* spp. foram semelhantes aos encontrados por Weber e Iwakiri (2015) que, para painéis aglomerados de *Pinus* spp., obtiveram o valor médio de 0,54 MPa.

Na comparação com painéis OSB, os resultados de tração perpendicular à superfície dos painéis mistos Aglo/OSB, foram próximos ao encontrado por Gorski et al. (2015) que, para painéis de *Pinus* spp., obtiveram o valor médio de 0,67 MPa.

O comparativo entre valores médios de módulo de elasticidade dos painéis de *Pinus* spp. e os requisitos das normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 9:

GRÁFICO 9 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS COM *Pinus* spp. NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

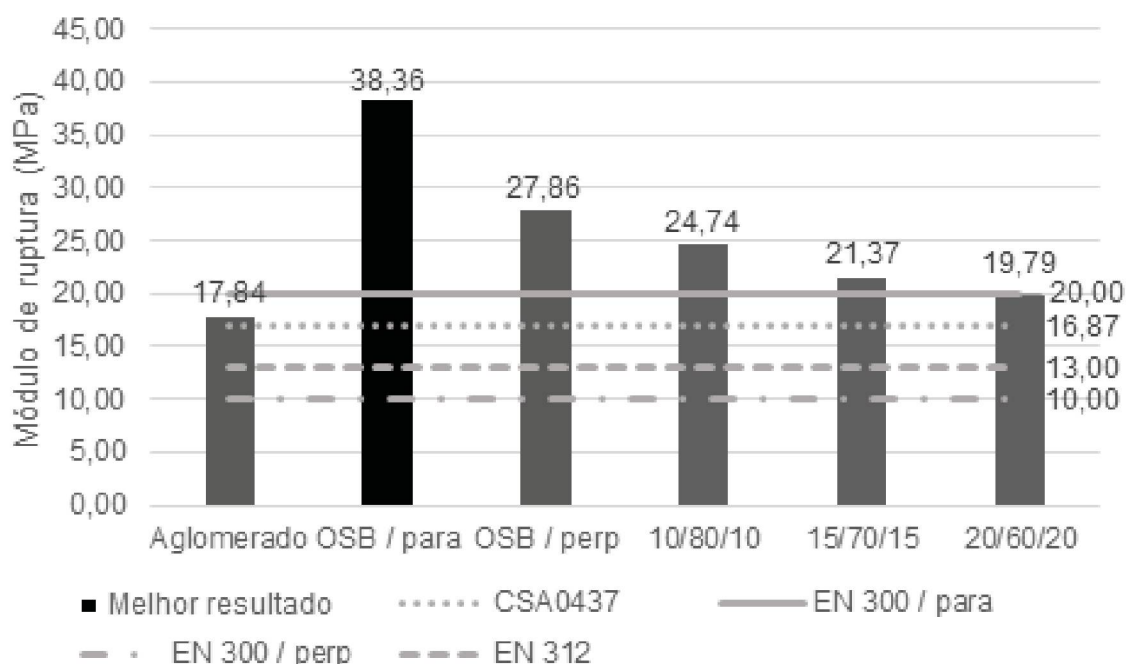


FONTE: O autor (2020).

Todos os tratamentos apresentaram valores médios de módulo de elasticidade em conformidade com as normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) para o sentido perpendicular e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006). Em relação à norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), apenas os painéis OSB nos dois sentidos atingiram os valores mínimos. Já em relação à norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), no sentido paralelo, somente os painéis OSB no sentido paralelo atenderam ao requisito normativo.

O comparativo entre valores médios de módulo de ruptura dos painéis de *Pinus* spp. e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 10:

GRÁFICO 10 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS DE *Pinus* spp. E REQUISITOS DAS NORMAS EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) E CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

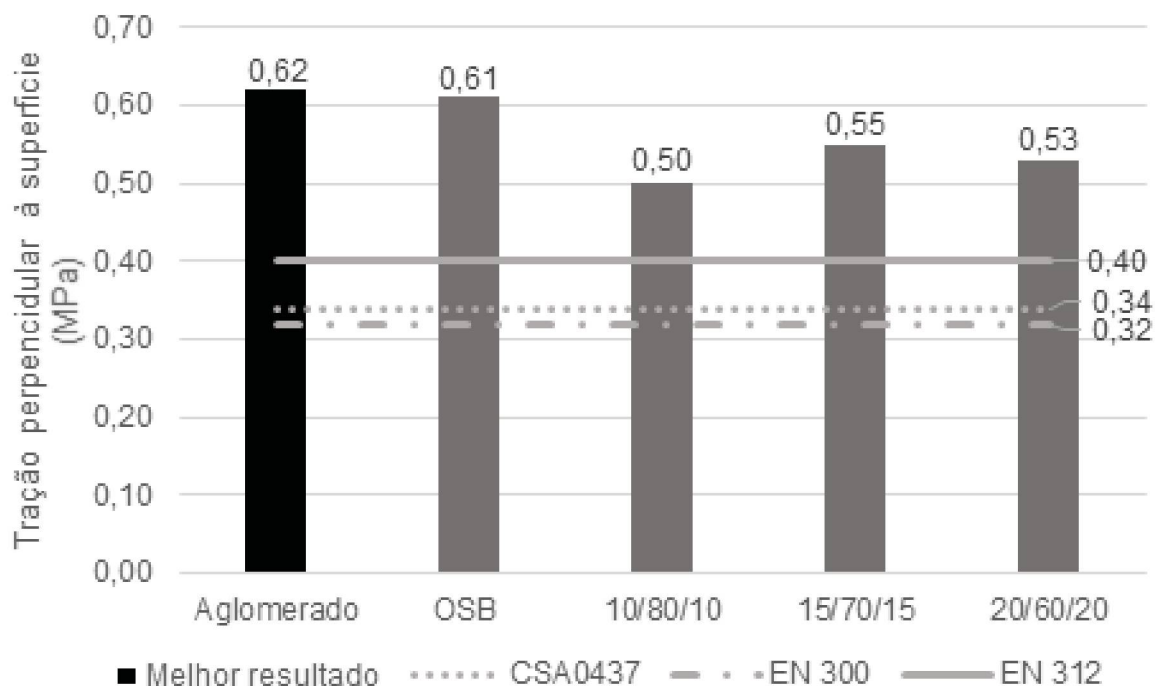


FONTE: O autor (2020).

Todos os tratamentos apresentaram valores médios de módulo de ruptura em conformidade com os requisitos normativos das normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido perpendicular e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003). Em relação à norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo, apenas os painéis aglomerados e os painéis mistos Aglo/OSB na composição 20/60/20 não atingiram os valores recomendados.

O comparativo entre valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis de *Pinus* spp. e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 11:

GRÁFICO 11 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS DE *Pinus* spp. NAS CAMADAS EXTERNAS E REQUISITOS DAS NORMAS EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)



FONTE: O autor (2020).

Todos os tratamentos apresentaram valores médios de tração perpendicular à superfície em conformidade com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

4.3.3.2 Painéis produzidos com partículas de *Eucalyptus badjensis* nas camadas externas

Os valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície dos painéis produzidos com *Eucalyptus badjensis*, nas camadas externas, estão apresentados na tabela 14:

TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE, MÓDULO DE RUPTURA E TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS COM *Eucalyptus badjensis* NAS CAMADAS EXTERNAS

Tratamento	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Aglomerado	1949 c (12,54)	14,85 c (15,04)	0,41 c (13,07)
OSB/ para	4707 a (25,17)	25,71 a (19,26)	0,55 a (19,71)
OSB/ perp	2281 bc (23,31)	24,12 ab (15,53)	
20/60/20	2295 bc (17,90)	17,89 bc (16,53)	0,46 bc (14,66)
15/70/15	2419 b (20,66)	19,80 bc (19,79)	0,51 ab (20,33)
10/80/10	2800 b (25,30)	22,87 b (22,48)	0,51 ab (23,66)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

Para os painéis de *Eucalyptus badjensis*, os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 1949 MPa (Aglomerado) a 4707 MPa (OSB sentido paralelo). Para o módulo de ruptura, os valores médios variaram de 14,85 MPa (Aglomerado) a 25,71 MPa (OSB sentido paralelo). Já os valores médios de tração perpendicular à superfície variaram de 0,41 MPa (10/80/10) a 0,55 MPa (Aglomerado).

Para módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície, os painéis mistos Aglo/OSB foram estatisticamente semelhantes entre si, apresentando valores médios estatisticamente semelhantes ou inferiores aos painéis OSB e semelhantes ou maiores que os obtidos para os painéis Aglomerados.

De forma geral, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores médios próximos aos obtidos para OSB e melhores que os obtidos para Aglomerados. Este fato confirma a qualidade desse tipo de painel. Afinal, além de apresentar propriedades físicas e mecânicas adequadas para a produção de painéis com fins estruturais com cargas limitadas, ele é produzido com camada externa de melhor acabamento superficial em relação aos painéis OSB, o que facilita a aplicação de revestimentos, sendo muito importante para determinadas aplicações, como painéis destinados a paredes e divisórias.

Em relação aos resultados da literatura para os módulos de elasticidade e ruptura, os valores médios dos painéis de *Eucalyptus badjensis* foram maiores que os encontrados por Cunha et al. (2014) que, para painéis aglomerados de *Eucalyptus benthamii*, obtiveram os valores médios de 1740 MPa para o módulo de elasticidade e de 11,3 MPa para o módulo de ruptura.

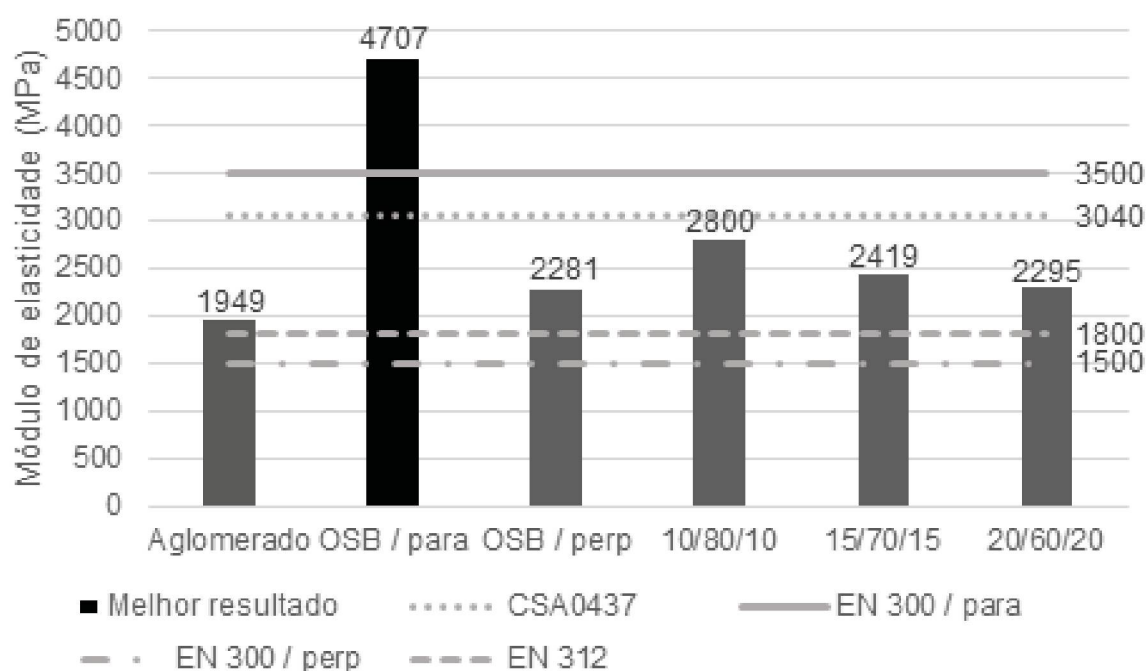
Na comparação com os painéis OSB, os resultados dos painéis mistos Aglo/OSB de *Eucalyptus badjensis* spp. foram menores que os encontrados por Rosa et al. (2015) que, para painéis de *Pinus taeda*, obtiveram os valores de módulo de elasticidade de 4903 MPa para o sentido paralelo e 2884 MPa para o sentido perpendicular, bem como valores de módulo de ruptura de 25,63 MPa para o sentido paralelo e 27,47 MPa para o sentido perpendicular.

Para a tração perpendicular à superfície, os resultados dos painéis mistos Aglo/OSB de *Pinus* spp. foram semelhantes aos encontrados por Rios et al. (2015) que, para painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*, obtiveram o valor médio de 0,54 MPa.

Comparando com os valores da literatura para painéis OSB, os valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis mistos Aglo/OSB de *Eucalyptus* foram semelhantes aos obtidos por Gorski et al. (2015) que, para painéis de *Eucalyptus benthamii*, obtiveram o valor médio de 0,50 MPa.

O comparativo entre valores médios de módulo de elasticidade dos painéis de *Eucalyptus badjensis* e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 12:

GRÁFICO 12 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS DE *Eucalyptus badjensis* E REQUISITOS DAS NORMAS DA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

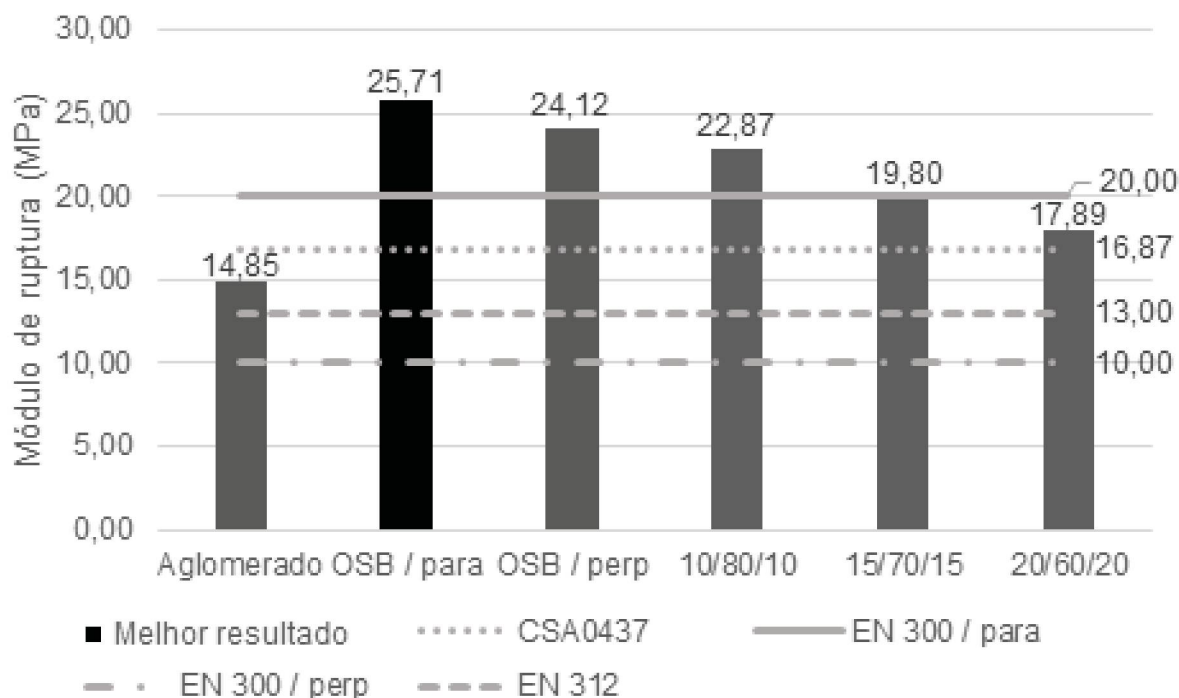


FONTE: O autor (2020).

Para o módulo de elasticidade, apenas os painéis OSB de *Eucalyptus badjensis* no sentido paralelo atingiram os valores mínimos exigidos pela norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido paralelo. Já em relação às normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido perpendicular, todos os tratamentos atenderam aos requisitos normativos.

O comparativo entre valores médios de módulo de ruptura dos painéis de *Eucalyptus badjensis* e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 13:

GRÁFICO 13 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS DE *Eucalyptus badiensis* E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



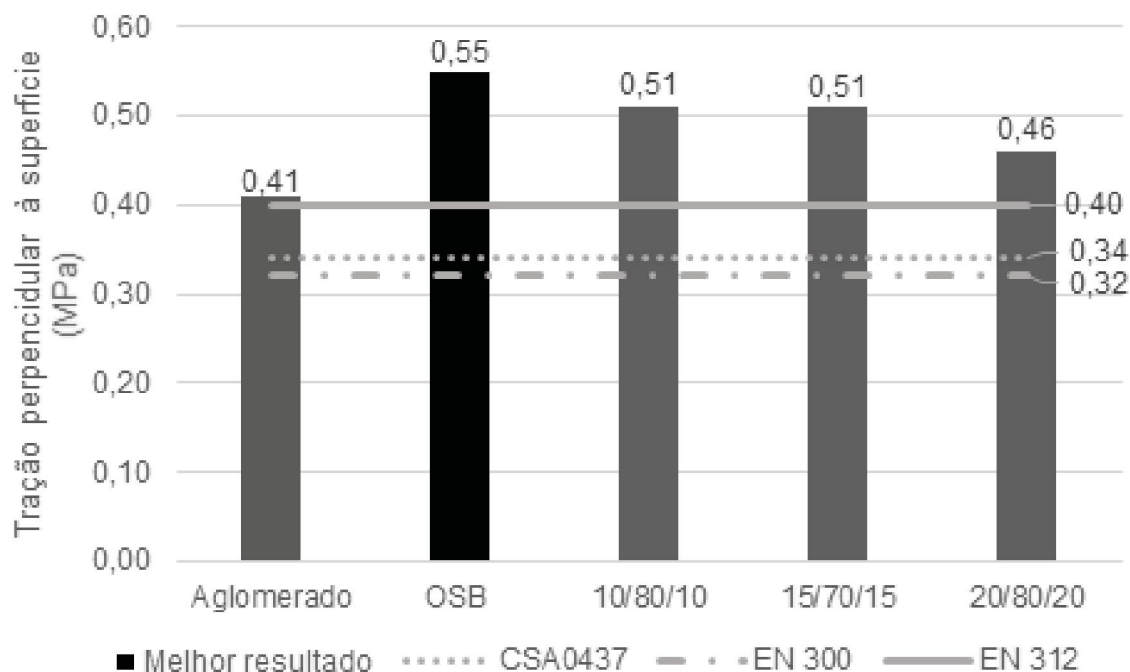
FONTE: O autor (2020).

Para o módulo de ruptura, todos os tratamentos atingiram os valores mínimos estabelecidos pelas normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo. Em relação à norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), apenas os painéis aglomerados não atenderam ao requisito normativo, fato que era esperado, pois os painéis aglomerados não apresentam finalidade estrutural.

Por sua vez, para a EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido paralelo, apenas os painéis OSB nos dois sentidos e os painéis mistos Aglo/OSB na composição 10/80/10 atingiram os valores mínimos recomendados.

O comparativo entre valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis de *Eucalyptus badiensis* e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 13:

GRÁFICO 14 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS DE *Eucalyptus badijensis* E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



FONTE: O autor (2020).

Para o ensaio de tração perpendicular à superfície, todos os tratamentos apresentaram valores médios em conformidade com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

4.3.3.3 Efeitos das espécies

Os valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície dos painéis Aglo/OSB produzidos com diferentes espécies nas camadas externas estão apresentados na tabela 15:

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NAS CAMADAS EXTERNAS

Espécie	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
<i>Pinus spp.</i>	2571 a (23,99)	22,92 a (25,13)	0,51 a (13,66)
<i>Eucalyptus badjensis</i>	2558 a (25,62)	20,90 a (27,94)	0,53 a (16,74)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE1: O autor (2020).

Os resultados da tabela 15 indicam que os painéis produzidos com *Eucalyptus badjensis* e *Pinus spp.* foram estatisticamente semelhantes para o módulo de elasticidade, o módulo de ruptura e a tração perpendicular à superfície.

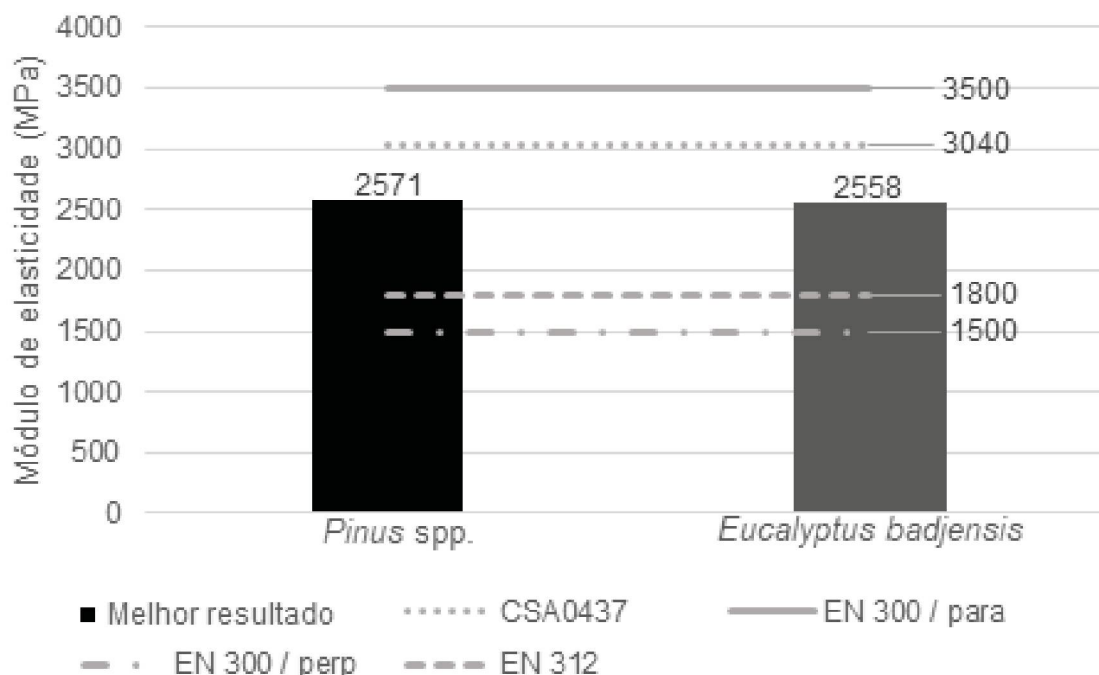
Para os módulos de elasticidade e ruptura, a semelhança estatística pode ser atribuída à pequena diferença na massa específica básica das madeiras de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus spp.* utilizadas e, conseqüentemente, à pequena variação na razão de compactação para painéis produzidos com a mesma massa específica nominal.

Para a tração perpendicular à superfície, a semelhança estatística pode ser explicada pelo fato de a camada interna desses painéis ter sido produzida com partículas do tipo *strand* de *Eucalyptus badjensis* para ambos os casos e, desse modo, foram submetidos aos mesmos esforços de tração.

Esse resultado diferiu do encontrado por Iwakiri et al. (2004), que avaliaram painéis OSB de *Eucalyptus grandis* e *Pinus spp.* e concluíram que os painéis produzidos com a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram resultados de propriedades mecânicas estatisticamente superiores ou semelhantes aos de *Pinus taeda*.

O comparativo entre valores médios de módulo de elasticidade dos painéis de diferentes espécies na camada externa e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 15:

GRÁFICO 15 - COMPARATIVO ENTRE VALORES MÉDIOS DE MÓDULO ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

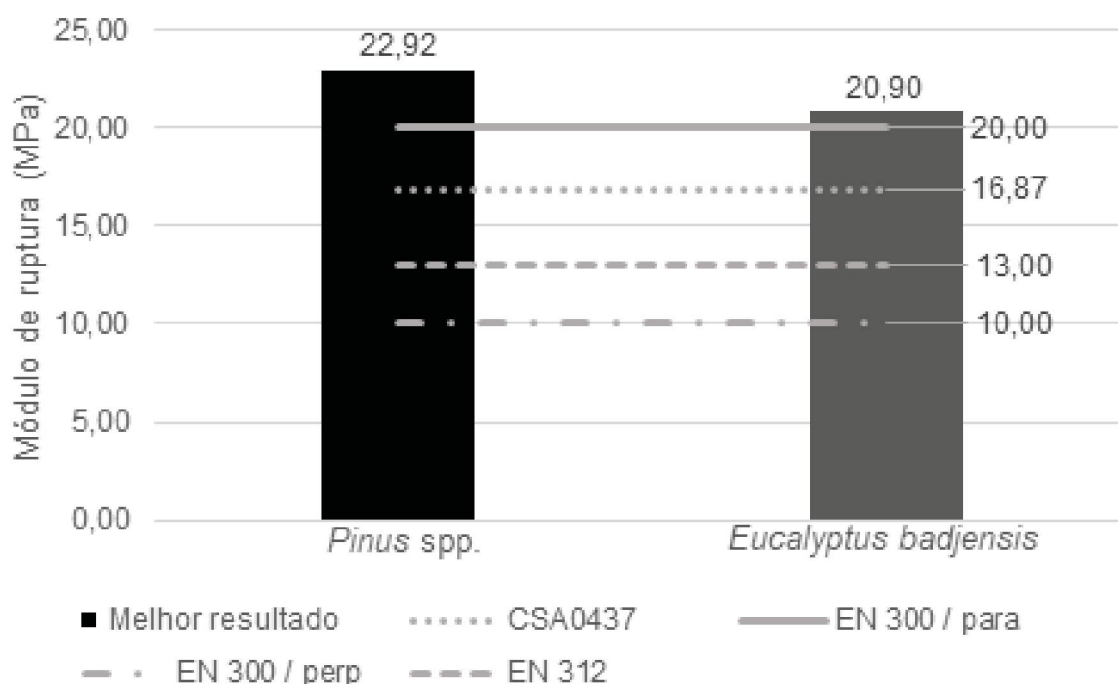


FONTE: O autor (2020).

As duas espécies atenderam aos requisitos mínimos de módulo de elasticidade recomendados pelas normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido perpendicular. Já em relação às normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo, nenhuma das duas espécies atingiu os valores mínimos recomendados.

O comparativo entre valores médios de módulo de ruptura dos painéis de diferentes espécies nas camadas externas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentados no gráfico 16:

GRÁFICO 16 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

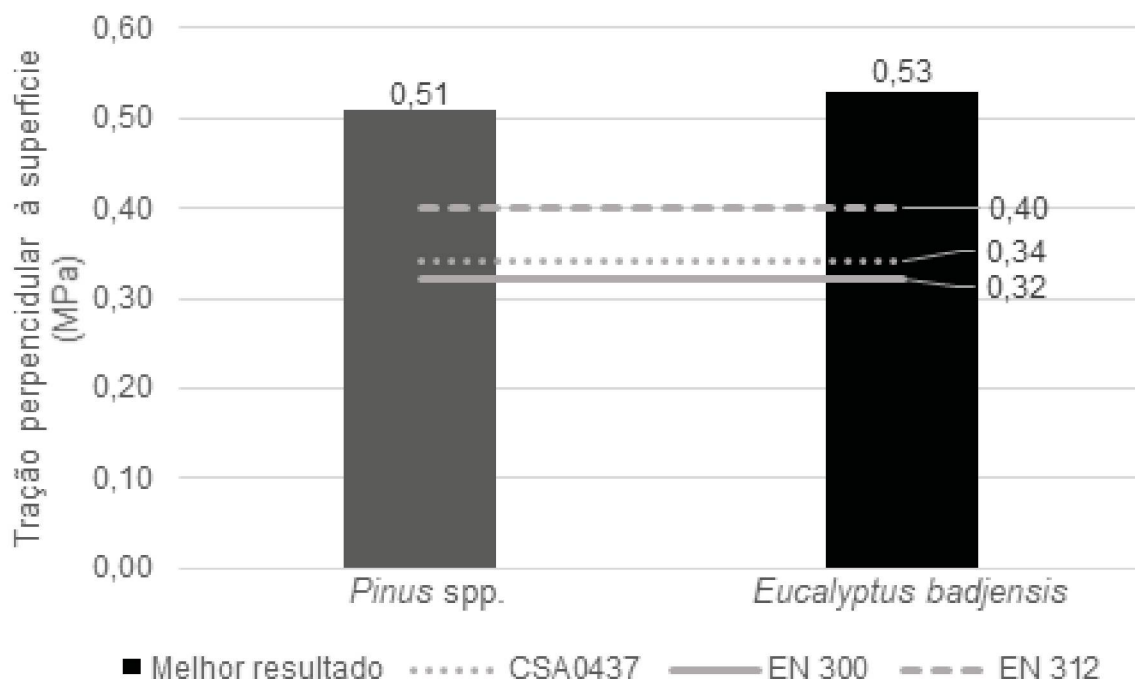


Fonte: O autor (2020).

Os painéis das duas espécies atenderam aos valores mínimos de módulo de ruptura recomendados pelas normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

O comparativo entre os valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis de diferentes espécies na camada externa e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 17:

GRÁFICO 17 - COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



FONTE: O autor (2020).

Os painéis das duas espécies atingiram os valores mínimos de tração perpendicular à superfície recomendados pelas normas EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

4.3.3.4 Efeitos das diferentes composições de camadas

Os valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície dos painéis com diferentes composições de camadas estão apresentados na tabela 16:

TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS

Composição	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
20/60/20	2316 b (12,62)	19,64 b (12,49)	0,51 a (14,85)
15/70/15	2495 b (15,06)	21,50 b (22,03)	0,53 a (10,04)
10/80/10	2895 a (21,78)	24,75 a (21,10)	0,51 a (19,57)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

Para os painéis produzidos com diferentes composições de camadas, os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 2316 MPa (20/60/20) a 2895 MPa (10/80/10). Para o módulo de ruptura, os valores médios variaram de 19,64 (20/60/20) a 24,75 (10/80/10). Já os valores médios de tração perpendicular à superfície variaram de 0,51 MPa (10/80/10) a 0,53 MPa (15/70/15).

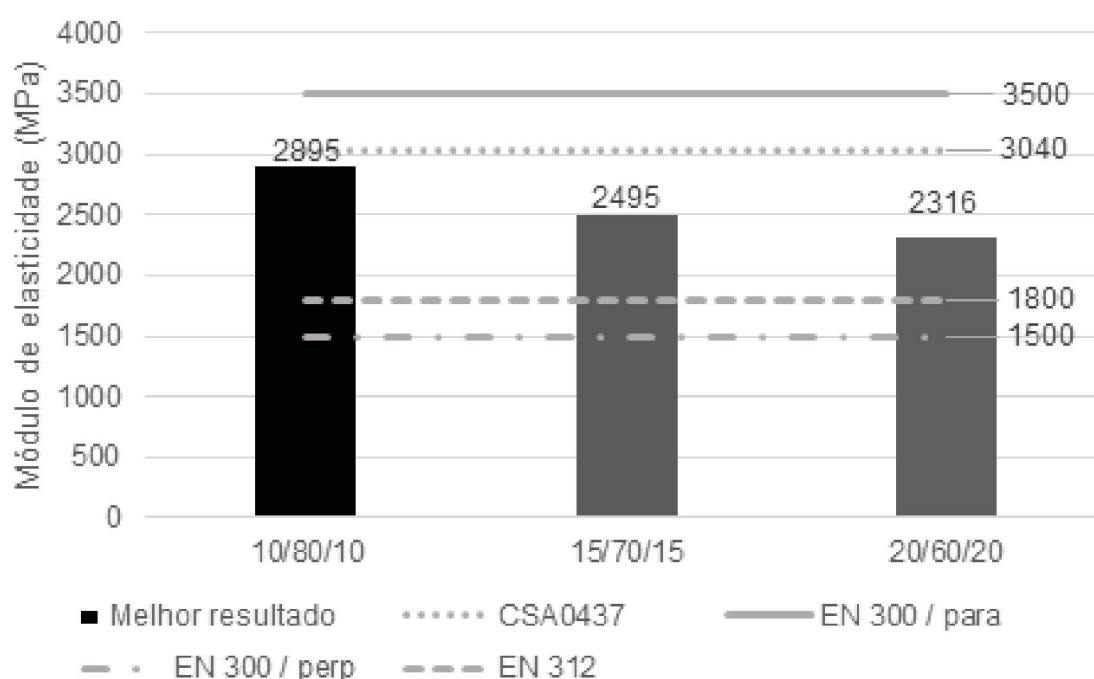
Com a análise dos resultados, foi possível observar que, para o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, os painéis produzidos com a composição 10/80/10 apresentaram valores médios estatisticamente superiores aos painéis com menor proporção de partículas *strand* na camada interna. Este resultado comprova a influência do comprimento das partículas nas propriedades de flexão estática, uma vez que painéis com maior quantidade de partículas do tipo *strand* apresentaram os maiores valores.

Para o ensaio de tração perpendicular à superfície, todos os tratamentos foram estatisticamente semelhantes. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de as camadas internas terem sido formadas com o mesmo material e, por conseguinte, serem submetidas às mesmas tensões de tração.

Na literatura, Mirski e Dziurka (2011) compararam painéis OSB com painéis de *strands* nas camadas externas e partículas menores na camada interna. Os resultados demonstraram que, com a utilização de partículas menores na camada interna, ocorreu uma leve redução nas propriedades de módulo de ruptura, módulo de elasticidade no sentido perpendicular e tração perpendicular à superfície.

O comparativo entre os valores médios de módulo de elasticidade dos painéis de diferentes composições de camadas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 18:

GRÁFICO 18 - COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTATICA DOS PAINÉIS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

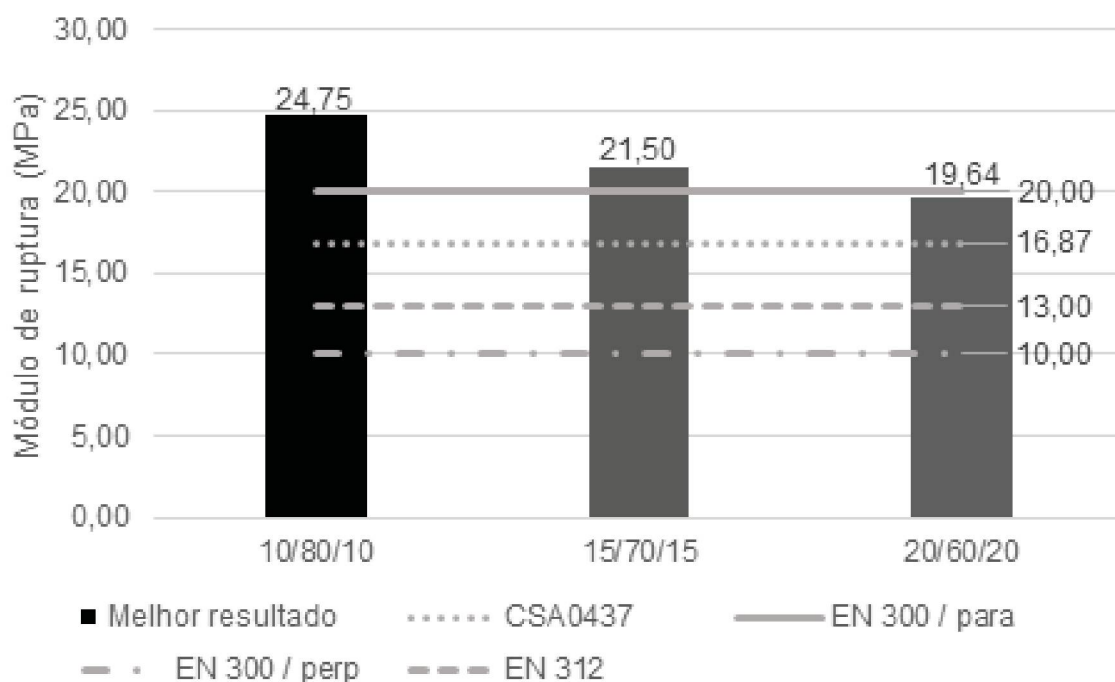


FONTE: O autor (2020).

Em comparação com os requisitos normativos para o módulo de elasticidade, todos os tratamentos atenderam aos requisitos mínimos das normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido perpendicular. Já em comparação com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003), nenhum tratamento atingiu os valores mínimos estabelecidos.

O comparativo entre valores médios de módulo de ruptura dos painéis de diferentes composições de camadas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 19:

GRÁFICO 19 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

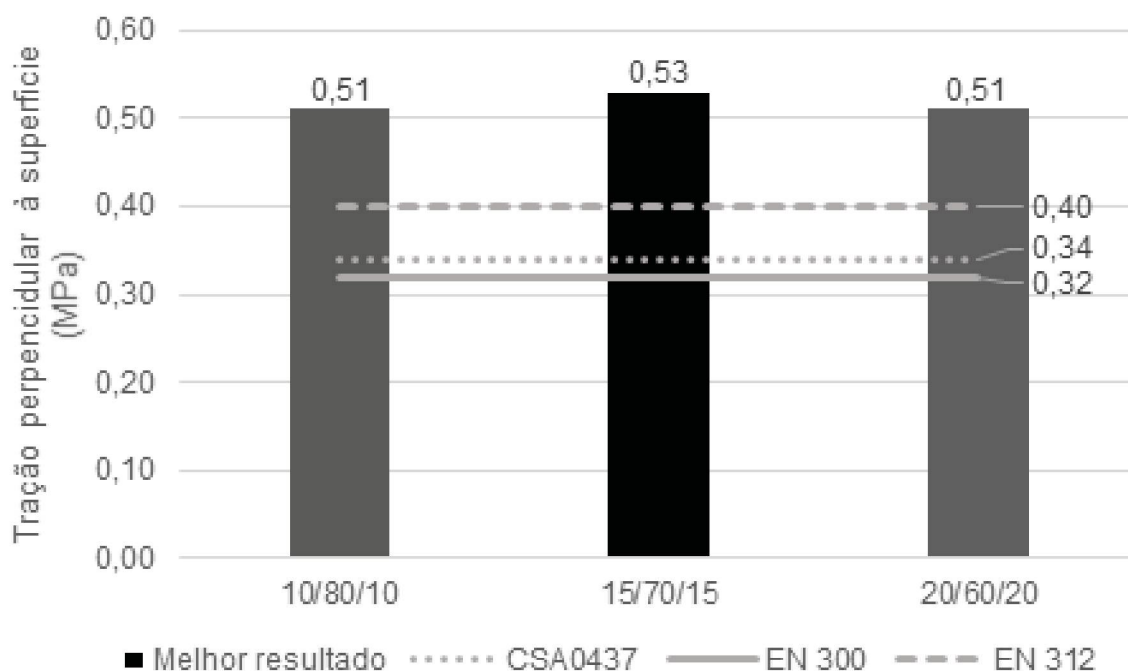


FONTE: O autor (2020).

Todos os tratamentos atingiram os valores mínimos de módulo de ruptura estabelecidos pelas normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido perpendicular. Para a EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido paralelo apenas a composição 20/60/20 apresentou valores inferiores aos estabelecidos.

O comparativo entre os valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis de diferentes composições de camadas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 20:

GRÁFICO 20 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR A SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS COM DIFERENTES ESPÉCIES NA CAMADA EXTERNA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



FONTE: O autor (2020).

Os valores médios dos painéis com diferentes composições de camadas atenderam aos requisitos mínimos de tração perpendicular à superfície estabelecidos pelas normas EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

4.3.4 Resumo das avaliações das propriedades dos painéis

O resumo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com diferentes espécies e composições de camadas está apresentado na tabela 17:

TABELA 17 - RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS DA PARTE 1 E TESTEMUNHAS

CE	Tratamento	MEA (g/cm ³)	RC	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Pinus	Aglo	0,689	1,60	29,49	63,41	10,57	24,85	2005	17,87	0,62
	OSB/para	0,717	1,65	28,77	63,37	13,34	33,07	5988	38,36	0,61
	OSB/perp	0,759	1,59	24,43	58,80	09,99	23,04	3169	27,86	0,53
	20/60/20	0,737	1,56	24,47	42,00	07,36	11,60	2206	19,59	0,55
	15/70/15	0,713	1,50	21,62	44,99	06,59	10,53	2437	21,37	0,50
E. bad	10/80/10	0,692	1,37	17,04	56,67	7,12	25,12	2850	24,74	0,50
	Aglo	0,709	1,44	12,52	40,45	4,85	9,15	1949	14,85	0,41
	OSB/para	0,749	1,48	16,10	47,11	4,51	15,24	4707	25,71	0,55
	OSB/perp	0,734	1,41	13,14	46,21	4,09	13,82	2281	24,12	0,46
	20/60/20	0,720	1,40	12,81	44,03	3,85	13,39	2295	17,89	0,51
Moslemi(1974)	15/70/15							2419	19,80	0,51
	10/80/10							2800	22,87	0,51
	CSA0437					8,00		3040	16,87	0,34
	EN 300 para						15,00	3500	20,00	0,32
	EN 300 perp							1500	10,00	0,32
EN 312								1800	13,00	0,40

NOTA: Pinus: *Pinus* spp; E bad: *Eucalyptus badjensis*; AA2h: absorção de água após 2 horas; AA24h: Absorção de água após 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura em 24 horas. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

De forma geral, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores médios próximos aos encontrados para OSB e melhores que os obtidos para os painéis aglomerados.

Estes resultados demonstraram a viabilidade técnica dos painéis mistos Aglo/OSB, pois além de apresentar propriedades físicas e mecânicas adequadas, apresentam como diferencial o melhor acabamento superficial, proporcionado pela utilização de partículas menores nas camadas externas. Apresentam também maior uniformidade nas propriedades nos sentidos paralelo e perpendicular do painel, em função de serem produzidos com partículas *strands* dispostas de forma aleatória na camada interna.

Entre os tratamentos da primeira fase experimental, o que apresentou as melhores propriedades físicas e mecânicas foi o de *Eucalyptus badjensis*, com a composição de camadas *sliver/strand/sliver* de 10%/80%/10%. Em função disso, esse tratamento foi escolhido para ser utilizado na segunda fase experimental (Efeitos da modificação térmica sobre os painéis Aglo/OSB).

4.4 Propriedades dos painéis submetidos à modificação térmica

4.4.1 Propriedades físicas dos painéis

Os resultados de massa específica aparente e razão de compactação dos painéis mistos Aglo/OSB e testemunhas estão apresentados na tabela 18:

TABELA 18 - VALORES DE MASSA ESPECÍFICA NOMINAL, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE E TESTEMUNHAS.

Composição	MEN (g/cm³)	MEA (g/cm³)	Razão de Compactação
Aglomerado - Testemunha	0,700	0,694 ab (4,20)	1,37 a (4,20)
OSB – Testemunha	0,700	0,709 ab (5,93)	1,40 a (5,93)
Aglo/OSB – Testemunha	0,720	0,717 ab (5,18)	1,42 a (5,18)
Aglo/OSB - 10 minutos/180°C	0,720	0,721 ab (6,30)	1,43 a (6,30)
Aglo/OSB - 12 minutos/180°C	0,720	0,726 ab (5,13)	1,44 a (5,13)
Aglo/OSB - 10 minutos/200°C	0,720	0,690 ab (3,12)	1,36 a (3,12)
Aglo/OSB - 12 minutos/200°C	0,720	0,736 a (3,82)	1,46 a (3,82)
Aglo/OSB - 10 minutos/220°C	0,720	0,712 ab (5,74)	1,42 a (5,74)
Aglo/OSB - 12 minutos/220°C	0,720	0,683 b (4,75)	1,35 a (4,75)

NOTA: MEN: Massa específica nominal; MEA: Massa específica aparente. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses.

FONTE: O autor (2020).

Os valores médios de massa específica aparente variaram de 0,683 g/cm³ (Aglo/OSB - 12 min/220°C) a 0,736 g/cm³ (Aglo/OSB - 12 min/200°C). A maioria dos tratamentos apresentou valores estatisticamente semelhantes, sendo que apenas os tratamentos Aglo/OSB - 12 min/200°C e Aglo/OSB - 12 min/220°C diferiram estatisticamente entre si.

Segundo Iwakiri et al. (2012), essa diferença pode ser atribuída às condições operacionais a nível laboratorial, sem a automação e o controle de precisão obtidos no processo industrial.

Os resultados de massa específica aparente diferiram da massa específica nominal. De acordo com Trianoski et al. (2011), essa diferença pode estar relacionada às perdas de partículas ocorridas durante o processo de montagem dos painéis e ao retorno em espessura após a prensagem. A diferença nos valores também pode estar relacionada à distribuição desuniforme das partículas em alguns pontos do painel durante a fase de formação do colchão.

Para a razão de compactação, os valores médios obtidos variaram de 1,35 (Aglo/OSB - 12 min/220°C) a 1,46 (Aglo/OSB - 12 min/200°C). Não foram constatadas diferenças estatísticas entre os diferentes tratamentos. Todos os tratamentos apresentaram resultados superiores a 1,3 que, conforme Moslemi (1974), é o valor mínimo recomendado para se obter painéis com área de contato satisfatória entre as partículas e densificação suficiente para a formação do painel.

Os resultados de massa específica aparente e razão de compactação dos painéis submetidos a diferentes tempos de modificação térmica estão apresentados na tabela 19:

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS TRATADOS COM DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA

Tratamento	MEA (g/cm ³)	RC
Testemunha	0,717 a (5,18)	1,42 a (5,18)
10 minutos	0,713 a (5,88)	1,41 a (5,88)
12 minutos	0,713 a (5,91)	1,41 a (5,91)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MEA: Massa específica aparente, RC: Razão de compactação.

FONTE: O autor (2020).

Para a massa específica aparente, não foi constatada diferença estatística significativa. Os valores médios variaram de 0,713 g/cm³ (10min/12 min) a 0,717 g/cm³ (Testemunha).

Para a razão de compactação, também não foi constatada diferença estatística significativa. Os valores médios variaram de 1,41 (10min/12min) a 1,42 (Testemunha).

Os resultados de massa específica aparente e razão de compactação dos painéis submetidos à modificação térmica em diferentes temperaturas estão apresentados na tabela 20:

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA

Temperatura	ME (g/cm³)	RC
Testemunha	0,717 a (5,18)	1,42 a (5,18)
180°C	0,716 a (5,64)	1,42 a (5,64)
200°C	0,720 a (5,24)	1,43 a (5,24)
220°C	0,701 a (6,34)	1,39 a (6,34)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. ME: Massa específica, RC: Razão de compactação.

FONTE: O autor (2020).

Em relação às diferentes temperaturas de modificação térmica, os valores médios de massa específica básica variaram de 0,701 g/cm³ (220°C) a 0,720 g/cm³ (200°C). Para razão de compactação, os valores médios variaram de 1,39 (220°C) a 1,42 (Testemunha).

Os painéis submetidos à modificação térmica foram estatisticamente semelhantes aos painéis testemunhas, tanto para os diferentes tempos de exposição, quanto para as diferentes temperaturas. Desse modo, os resultados indicaram que a modificação térmica não ocasionou a redução da massa específica aparente dos painéis.

Segundo Melo et al., (2018) esse comportamento é positivo, uma vez que a redução da massa específica dos painéis pode ocasionar uma diminuição da qualidade do produto final.

Os painéis tratados com diferentes temperaturas e tempos de exposição apresentaram valores de razão de compactação superiores a 1,3, recomendado por Moslemi (1974) para se obter painéis com área de contato satisfatória.

Os resultados de razão de compactação não demonstraram influência da modificação térmica sobre essa propriedade. Os painéis modificados termicamente foram estatisticamente semelhantes aos testemunhas, tanto para os diferentes tempos de exposição, quanto para as diferentes temperaturas.

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis submetidos às diferentes temperaturas de modificação térmica estão apresentados na tabela 21:

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE E TESTEMUNHAS

Tratamento	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
Aglomerado - Testemunha	18,19 b (15,54)	59,94 c (13,22)	7,80 b (24,80)	26,21 d (17,54)
OSB – Testemunha	13,68 a (16,30)	40,89 ab (18,83)	5,04 a (28,69)	10,68 a (15,20)
Aglo/OSB – Testemunha	13,87 a (10,66)	46,08 b (11,78)	5,21 a (28,47)	14,59 c (21,07)
Aglo/OSB - 10 minutos/180°C	14,14 a (09,79)	37,87 ab (07,55)	6,20 ab (16,49)	14,23 bc (15,28)
Aglo/OSB - 12 minutos/180°C	12,22 a (20,78)	36,54 a (05,35)	5,98 a (16,51)	12,86 abc (19,73)
Aglo/OSB - 10 minutos/200°C	14,76 a (08,95)	40,19 ab (05,27)	6,27 ab (25,45)	13,46 abc (19,07)
Aglo/OSB - 12 minutos/200°C	13,34 a (07,87)	38,15 ab (06,60)	5,76 a (31,78)	14,21 bc (19,60)
Aglo/OSB - 10 minutos/220°C	13,66 a (16,04)	40,19 ab (10,87)	5,36 a (30,51)	11,13 a (21,65)
Aglo/OSB - 12 minutos/220°C	11,71 a (10,67)	36,87 a (07,44)	4,63 a (29,40)	11,12 a (23,34)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água após 2 horas, AA24h: Absorção de água após 24 horas, IE2h: Inchamento em espessura após 2 horas, IE24h: Inchamento em espessura após 24 horas.

FONTE: O autor (2020).

Os valores médios de absorção de água variaram de 11,71% (Aglo/OSB - 12min/220°C) a 18,19% (Aglomerado - testemunha) para o ensaio após 2 horas e de 36,87% (Aglo/OSB - 12min/220°C) a 59,94% (Aglomerado - testemunha) para o ensaio após 24 horas de imersão.

Para o inchamento em espessura, os valores médios variaram de 4,63% (Aglo/OSB - 12min/220°C) a 7,80% (Aglomerado - testemunha), após 2 horas de imersão, e de 11,12% (Aglo/OSB - 12 min/200°C) a 26,21% (Aglomerado - testemunha) após 24 horas de imersão.

Para a absorção de água após 2 horas de imersão, os resultados dos painéis Aglo/OSB modificados termicamente foram estatisticamente semelhantes aos painéis OSB e Aglo/OSB testemunhas e estatisticamente inferiores aos painéis aglomerados.

Em relação à absorção de água após 24 horas de imersão, os painéis Aglo/OSB modificados termicamente apresentaram valores médios estatisticamente inferiores aos painéis aglomerados e estatisticamente semelhantes ou inferiores aos obtidos para os painéis OSB e mistos Aglo/OSB testemunhas.

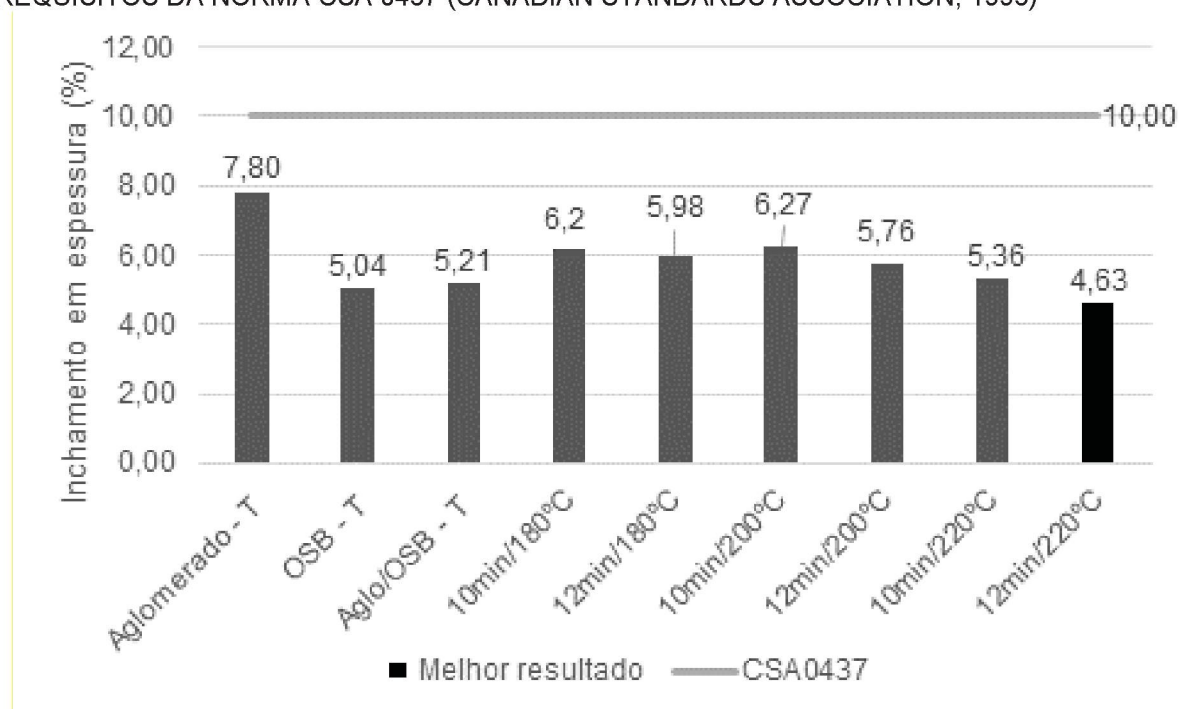
Para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão, os valores médios dos painéis mistos Aglo/OSB modificados termicamente foram estatisticamente semelhantes aos obtidos para os painéis OSB e mistos Aglo/OSB testemunhas e estatisticamente inferiores ou semelhantes aos encontrados para os painéis aglomerados.

Os resultados de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis mistos Aglo/OSB modificados termicamente apresentaram valores médios estatisticamente inferiores aos painéis aglomerados, estatisticamente semelhantes ou inferiores aos painéis mistos Aglo/OSB testemunhas e estatisticamente semelhantes ou maiores que os painéis OSB.

De forma geral, os painéis Aglo/OSB modificados termicamente apresentaram valores médios de inchamento em espessura estatisticamente inferiores que os painéis aglomerados e estatisticamente semelhantes ou inferiores que os testemunhas e OSB.

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura dos painéis modificados termicamente e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 21:

GRÁFICO 21 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)



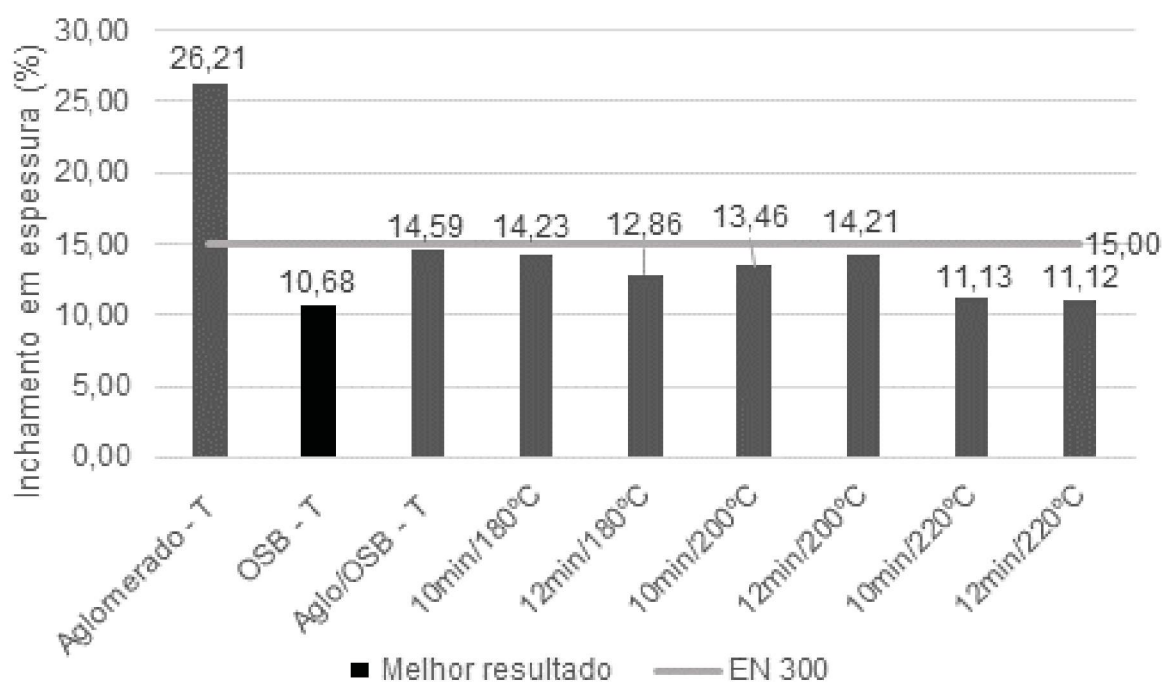
NOTA: T: testemunha.

Fonte: O autor (2020).

Todos os tratamentos atingiram os valores mínimos de inchamento em espessura após 2 horas recomendados pela norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis modificados termicamente e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 22:

GRÁFICO 22 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)



NOTA: T: Misto testemunha.

Fonte: O autor (2020).

Com exceção dos painéis aglomerados, todos os demais tratamentos atingiram os valores mínimos de inchamento em espessura após 24 horas recomendados pela EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis submetidos aos diferentes tempos de modificação térmica estão apresentados na tabela 22:

TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA

Tempo	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
Testemunha	13,93 b (10,66)	46,15 b (11,88)	5,16 a (28,44)	14,69 b (21,07)
10 minutos	14,01 b (15,38)	39,31 a (10,40)	5,75 a (33,10)	12,32 a (21,07)
12 minutos	12,53 a (14,32)	37,28 a (7,59)	5,50 a (33,72)	12,64 a (25,33)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água após 2 horas; AA24h: Absorção de água após 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura após 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura após 24 horas.

FONTE: O autor (2020).

Em relação aos diferentes tempos de modificação térmica, os valores médios de absorção de água variaram de 12,53% (12min) a 13,93% (Testemunha) após 2 horas, e de 37,28% (12min) a 45,32% (Testemunha) após 24 horas.

Os painéis modificados termicamente por 12 minutos apresentaram valores médios de absorção de água após 2 horas estatisticamente inferiores aos demais tratamentos. Já para a absorção de água após 24 horas, os painéis modificados termicamente apresentam valores médios estatisticamente inferiores que os painéis testemunhas.

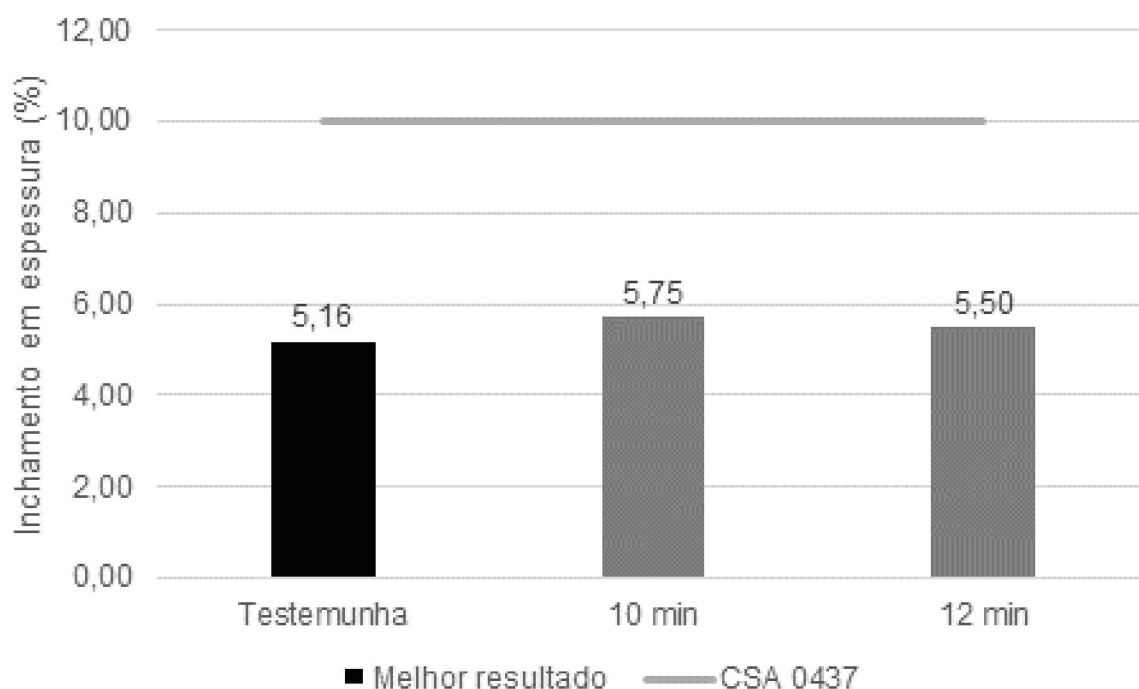
Os valores médios de inchamento em espessura variaram de 5,16% (Testemunha) a 5,75% (10 minutos) para o ensaio após 2 horas de imersão e de 12,32% (10 minutos) a 14,69% (Testemunha) para o ensaio após 24 horas de imersão.

Para o inchamento em espessura após 2 horas, não foi constatada diferença estatística significativa entre os painéis tratados termicamente e testemunhas.

Os resultados de inchamento em espessura após 24 horas demonstraram o efeito da aplicação da modificação térmica, em diferentes tempos de exposição, para a melhora dessa propriedade, uma vez que os painéis modificados termicamente apresentaram valores médios estatisticamente inferiores aos painéis testemunhas.

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 2 horas dos painéis modificados termicamente com diferentes tempos de exposição e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), está apresentado no gráfico 23:

GRÁFICO 23 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE COM DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO E OS REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

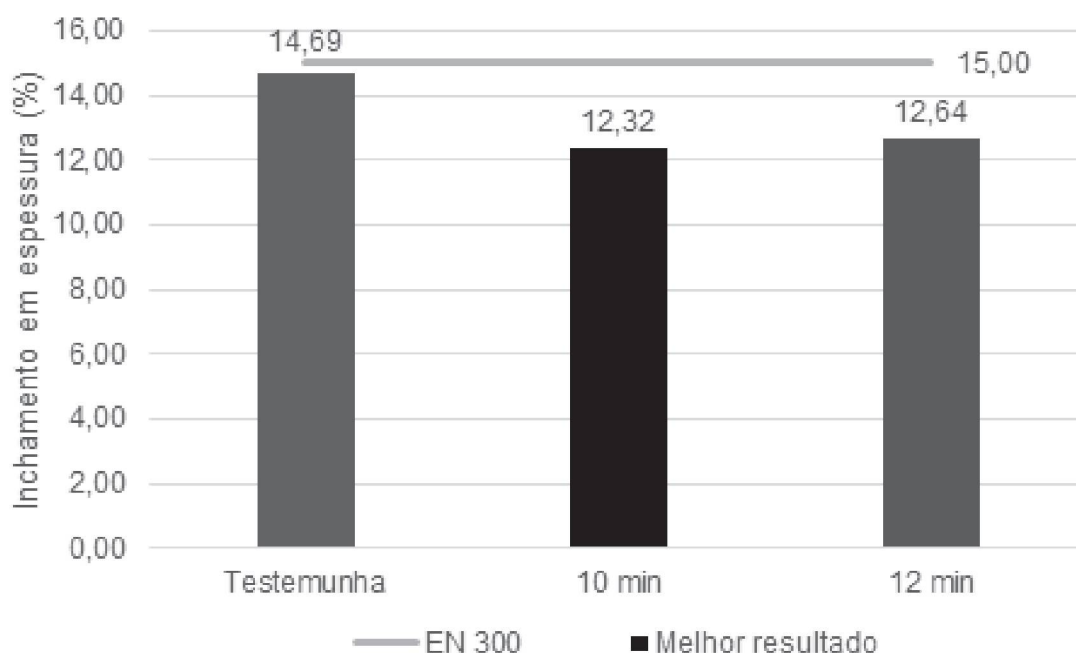


FONTE: O autor (2020).

Todos os tratamentos atingiram os valores de inchamento em espessura após 2 horas recomendados pela norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993).

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis modificados termicamente com diferentes tempos de exposição e a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) está apresentado no gráfico 24:

GRÁFICO 24 - COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



FONTE: O autor (2020).

Os painéis modificados termicamente e os testemunhas atingiram os valores recomendados de inchamento em espessura após 24 horas pela EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

Os resultados de absorção de água e inchamento em espessura, obtidos para as diferentes temperaturas de modificação térmica, estão apresentados na tabela 23:

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS TRATADOS TERMICAMENTE COM DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)
Testemunha	13,83 a (10,66)	46,32 b (11,88)	5,09 a (28,47)	14,60 b (21,07)
180°C	12,84 a (15,94)	36,84 a (10,62)	5,32 a (25,30)	13,12 b (20,93)
200°C	13,95 a (16,39)	38,20 a (10,09)	6,13 a (32,57)	13,71 b (21,22)
220°C	12,97 a (16,01)	39,04 a (12,96)	5,93 a (33,25)	11,13 a (25,17)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. AA2h: Absorção de água após 2 horas; AA24h: Absorção de água após 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura após 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura após 24 horas.

FONTE: O autor (2020).

Para as diferentes temperaturas de modificação térmica, os valores de absorção de água variaram de 12,83% (Testemunha) a 13,95% (200°C), para o ensaio após 2 horas de imersão, e de 36,84% (180°C) a 46,32% (Testemunha) para o ensaio após 24 horas de imersão.

Para a absorção de água após 2 horas de imersão, não foi constatada diferença estatística significativa entre as diferentes temperaturas de modificação térmica. Já para a absorção de água após 24 horas, os painéis mistos Aglo/OSB foram estatisticamente semelhantes entre si e apresentaram valores médios estatisticamente inferiores aos painéis testemunhas.

Em termos comparativos, os valores médios de absorção de água obtidos para os painéis mistos Aglo/OSB modificados termicamente com diferentes temperaturas e tempos de exposição foram maiores que os encontrados por Rosa et al. (2017) que, para OSB de cinco espécies de *Eucalyptus*, obtiveram valores médios entre 10,32% e 11,37%, para absorção de água após 2 horas, e de 31,66% a 36,58% para absorção de água após 24 horas.

Em comparação aos valores da literatura para aglomerados, os valores médios de absorção de água foram menores que os encontrados por Cunha et al. (2015) que, para painéis aglomerados de *Eucalyptus benthamii*, encontrou os valores médios de 15,9% e 39,9%, para absorção de água após 2 e 24 horas, respectivamente.

Os valores médios de inchamento em espessura variaram de 5,09% (Testemunha) a 6,13% (200°C), para o ensaio após 2 horas de imersão, e de 11,13% (220°C) a 14,60% (Testemunha) para o ensaio após 24 horas de imersão.

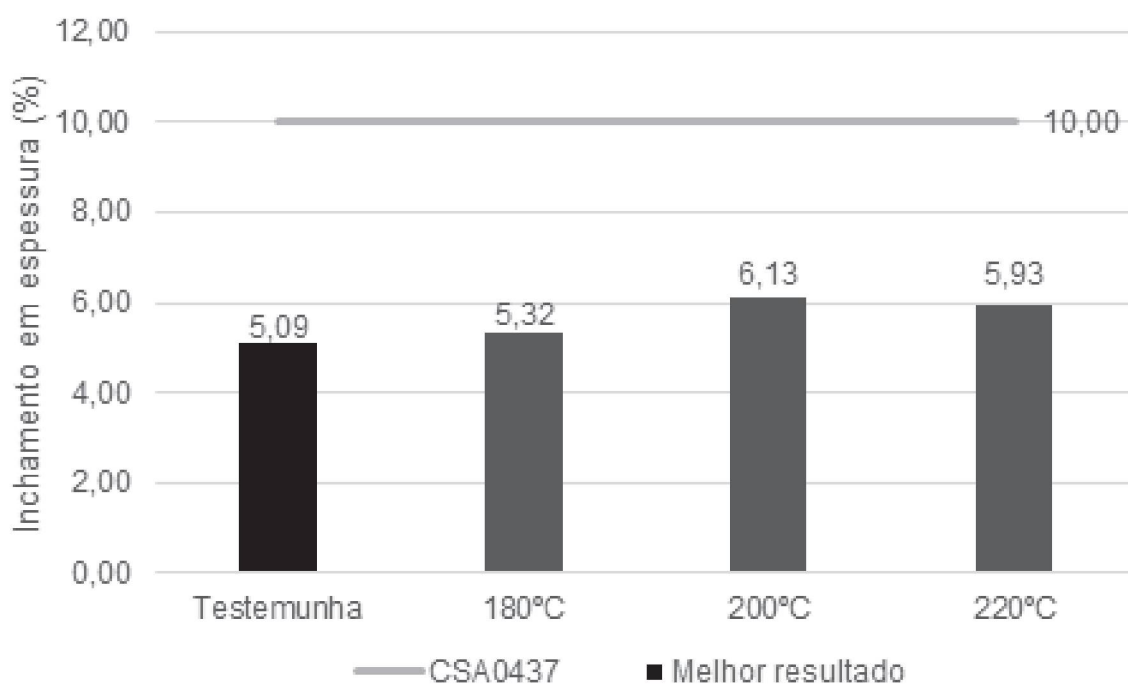
Os resultados de inchamento em espessura após 2 horas não indicaram diferença estatística entre os painéis modificados termicamente com diferentes temperaturas e os painéis testemunhas. Para o inchamento em espessura após 24 horas, os painéis tratados a 220°C apresentam os menores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Na comparação com os resultados da literatura para painéis OSB, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram resultados ligeiramente maiores que os obtidos por Rosa et al. (2017). Para painéis OSB de cinco espécies de *Eucalyptus*, esses autores encontraram os valores médios de inchamento em espessura entre 2,09% e 2,46% após 2 horas e entre 8,56% e 10,44% após 24 horas.

Em comparação aos resultados da literatura para painéis aglomerados, os valores médios encontrados foram menores que os obtidos por Iwakiri et al. (2000) que, para painéis de *Eucalyptus grandis*, obtiveram os valores médios de 12,40% e 24,02% para inchamento em espessura após 2 e 24 horas, respectivamente.

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 2 horas dos painéis modificados termicamente com diferentes temperaturas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) está apresentado no gráfico 25:

GRÁFICO 25 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPERTURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DA NORMA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

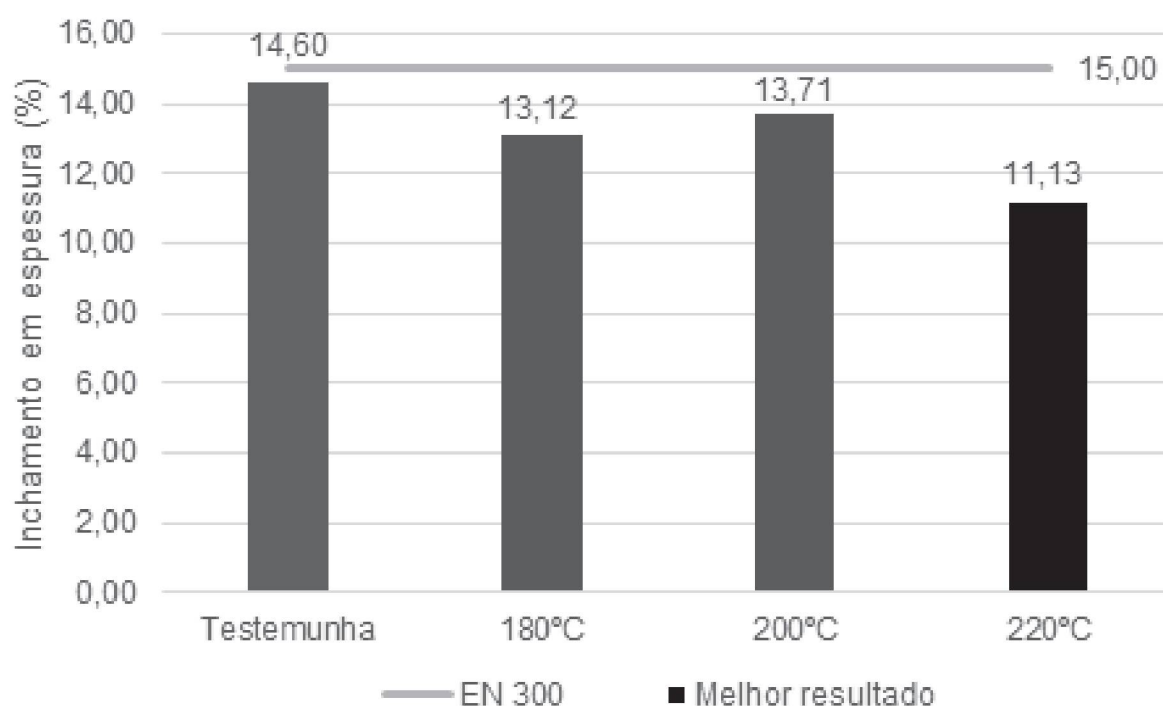


FONTE: O autor (2020).

Tanto os painéis tratados com diferentes temperaturas, quanto os painéis testemunhas, atingiram os valores de inchamento em espessura após 2 horas recomendados pela norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993)

O comparativo entre os valores médios de inchamento em espessura após 24 horas dos painéis modificados termicamente com diferentes temperaturas e a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006), está apresentado no gráfico 26:

GRÁFICO 26 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DA NORMA EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006)



FONTE: O autor (2020).

Os painéis mistos Aglo/OSB modificados termicamente com diferentes temperaturas e os painéis testemunhas apresentaram valores médios de inchamento em espessura após 24 horas em conformidade com a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006).

De forma geral, foi constatada que a modificação térmica influenciou positivamente as propriedades de absorção de água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 24 horas.

Na literatura, vários pesquisadores observaram que a modificação térmica melhorou a estabilidade dimensional dos painéis, como Mendes et al. (2013) que, em estudo sobre painéis de *Pinus* spp. submetidos à modificação térmica com temperatura de 220°C durante 12 minutos, concluíram que a modificação térmica ocasionou uma melhora significativa nas propriedades de inchamento em espessura após 24 horas de imersão e taxa de não-retorno em espessura dos painéis.

Carvalho et al. (2015), em estudo sobre aglomerados de bagaço de cana, observaram que painéis tratados à temperatura de 260°C durante 12 minutos apresentaram redução significativa dos valores médios de absorção de água e inchamento em espessura, tanto para 2 horas de imersão, quanto para 24 horas de imersão.

De acordo com Del Menezzi et al. (2009), a melhora das propriedades de estabilidade dimensional com a modificação térmica ocorre em função da liberação das tensões internas de compressão geradas durante a prensagem e a redução da higroscopicidade da madeira.

Por sua vez, a redução da higroscopicidade da madeira está relacionada à degradação da hemicelulose. Esta degradação gera furfural, além de outros polímeros menos higroscópicos que a hemicelulose (BATISTA et al., 2011).

De acordo com Repellin e Guyonnet (2005), a redução da higroscopicidade da madeira com a modificação térmica também está relacionada à mudança da estrutura da lignina, que passa por um rearranjo, resultando em menor higroscopicidade.

4.4.2 Propriedades mecânicas dos painéis

Os resultados de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície para os painéis testemunhas e submetidos à modificação térmica estão apresentados na Tabela 24:

TABELA 24 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE E TESTEMUNHAS.

Composição	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Aglomerado - Testemunha	1924 c (13,10)	16,69 b (19,92)	0,40 b (05,79)
OSB Paralelo - Testemunha	4713 a (23,66)	26,98 a (19,33)	0,54 a (23,34)
OSB Perpendicular - Testemunha	2216 b (25,53)	25,80 ab (17,12)	
Aglo/OSB - Testemunha	2883 b (17,92)	23,84 ab (23,48)	0,49 ab (23,83)
Aglo/OSB - 10 minutos/180°C	2653 bc (17,63)	21,33 ab (20,04)	0,46 ab (21,33)
Aglo/OSB - 12 minutos/180°C	2536 bc (20,88)	19,29 ab (21,51)	0,48 ab (10,80)
Aglo/OSB - 10 minutos/200°C	2742 b (21,37)	20,05 ab (26,97)	0,46 ab (15,63)
Aglo/OSB - 12 minutos/200°C	2883 b (24,76)	23,51 ab (32,45)	0,51 ab (12,89)
Aglo/OSB - 10 minutos/220°C	2569 bc (25,36)	18,23 ab (20,82)	0,49 ab (16,43)
Aglo/OSB - 12 minutos/220°C	2397 bc (17,23)	17,18 ab (22,45)	0,48 ab (10,88)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

Os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 1924 MPa (Aglomerado - testemunha) a 4713 MPa (OSB Paralelo - testemunha). Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 16,69 MPa (Aglomerado - testemunha) a 26,98 MPa (OSB Paralelo - testemunha) e os valores médios de tração perpendicular à superfície variaram de 0,40 MPa (Aglomerado - testemunha) a 0,54 MPa (OSB Paralelo - testemunha).

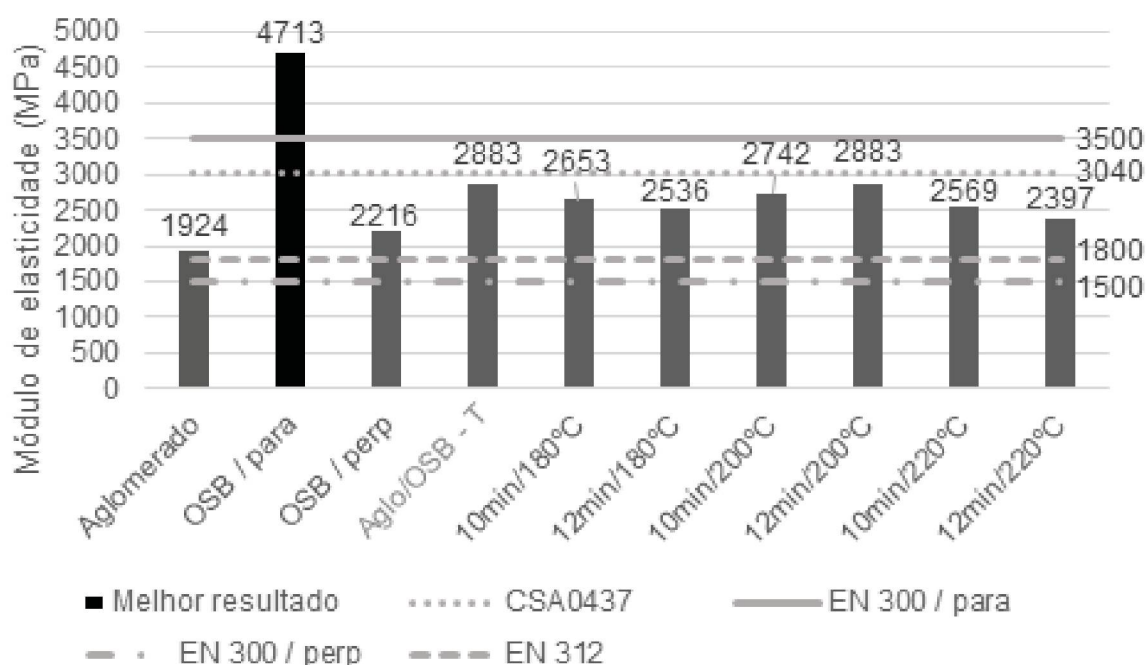
Para o módulo de elasticidade, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes entre si. Em comparação aos painéis OSB, os valores médios encontrados para os painéis mistos Aglo/OSB foram estatisticamente inferiores aos obtidos para o sentido paralelo e semelhantes aos obtidos para o sentido perpendicular. Já em comparação com os painéis aglomerados, os valores médios dos painéis mistos Aglo/OSB foram estatisticamente semelhantes ou maiores.

Para o módulo de ruptura, com exceção dos painéis OSB no sentido paralelo e aglomerado, que diferiram estatisticamente entre si, os demais tratamentos apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes.

Para a tração perpendicular à superfície, com exceção dos painéis OSB e aglomerado que diferiram estatisticamente entre si, os demais tratamentos apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes.

O comparativo entre os valores médios de módulo de elasticidade dos painéis modificados termicamente e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 27:

GRÁFICO 27 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS MODIFICADOS TERMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

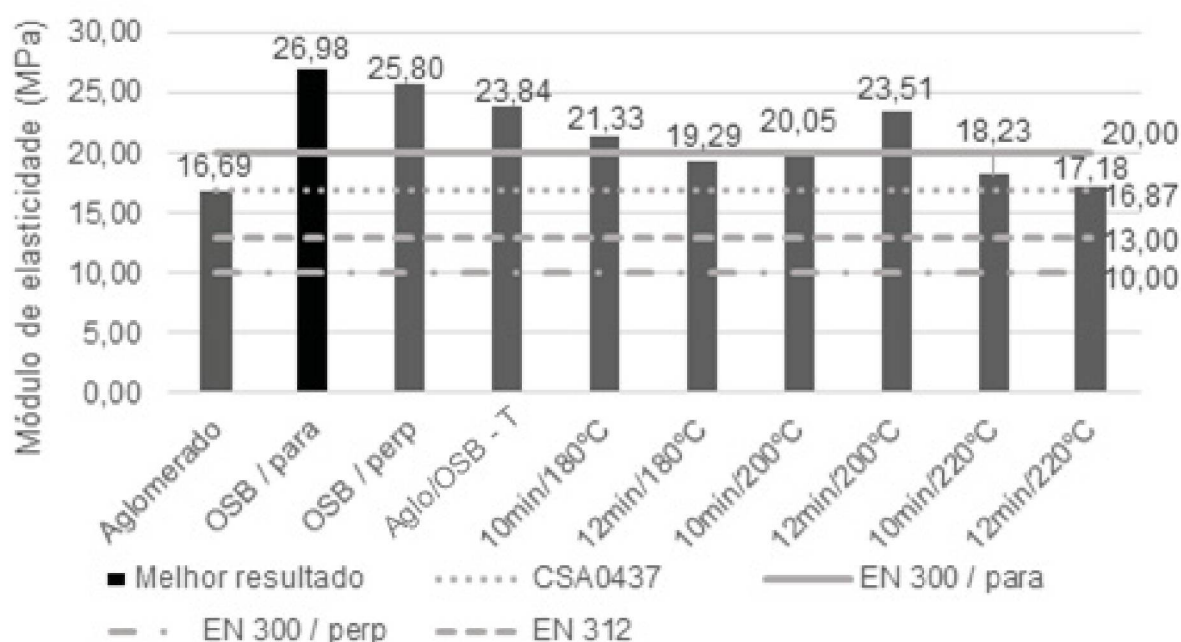


NOTA: OSB/ para: OSB para: OSB no sentido paralelo. OSB no sentido perpendicular;
Aglo/OSB T: Aglo/OSB testemunha. Fonte: O autor (2020).

Todos os tratamentos atingiram os valores mínimos de módulo de elasticidade recomendados pelas normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido perpendicular. Já em relação aos requisitos das normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo, apenas os painéis OSB atingiram os valores mínimos recomendados.

O comparativo entre os valores médios de módulo de ruptura dos painéis modificados termicamente e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 28:

GRÁFICO 28 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE, TESTEMUNHAS E OS REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

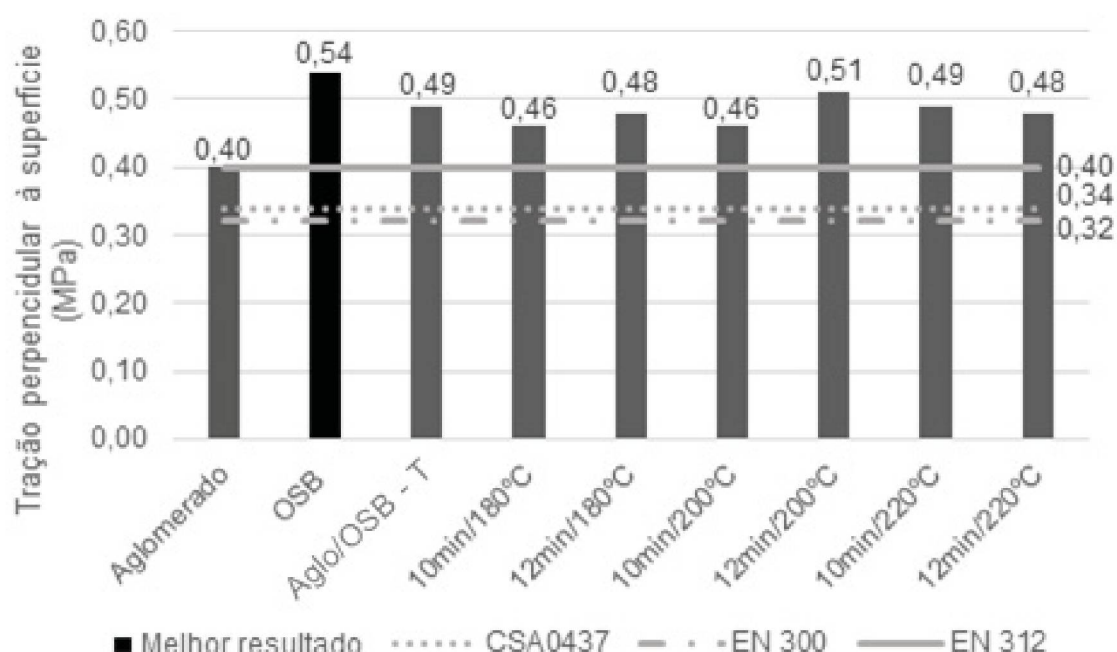


NOTA: OSB/ para: OSB para: OSB no sentido paralelo. OSB no sentido perpendicular;
Aglo/OSB T: Aglo/OSB testemunha. FONTE: O autor (2020).

Todos os tratamentos apresentam valores médios de módulo de ruptura em conformidade com a EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e a EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido perpendicular. Apenas os painéis aglomerados não atenderam aos requisitos normativos da norma CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993). Já em relação à norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo, os painéis aglomerados e os painéis mistos Aglo/OSB em três tratamentos (12min/180°C; 10min/220°C e 12min/220°C) não atingiram os requisitos mínimos recomendados.

O comparativo entre os valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis modificados termicamente e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 29:

GRÁFICO 29 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS MODIFICADOS TÉRMICAMENTE, TESTEMUNHAS E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



NOTA: OSB/ para: OSB para: OSB no sentido paralelo. OSB no sentido perpendicular;
T: Testemunha. FONTE: O autor (2020).

Em relação aos requisitos normativos, todos os tratamentos apresentaram valores médios de tração perpendicular à superfície em conformidade com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

Os resultados de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície dos painéis submetidos à modificação térmica em diferentes tempos de exposição estão apresentados na Tabela 25:

TABELA 25 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO

Tratamento	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Testemunha	2710 a (17,92)	22,69 a (23,48)	0,51 a (20,35)
10 minutos	2554 a (21,44)	19,50 a (19,34)	0,52 a (17,47)
12 minutos	2558 a (22,48)	21,02 a (20,13)	0,48 a (13,93)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

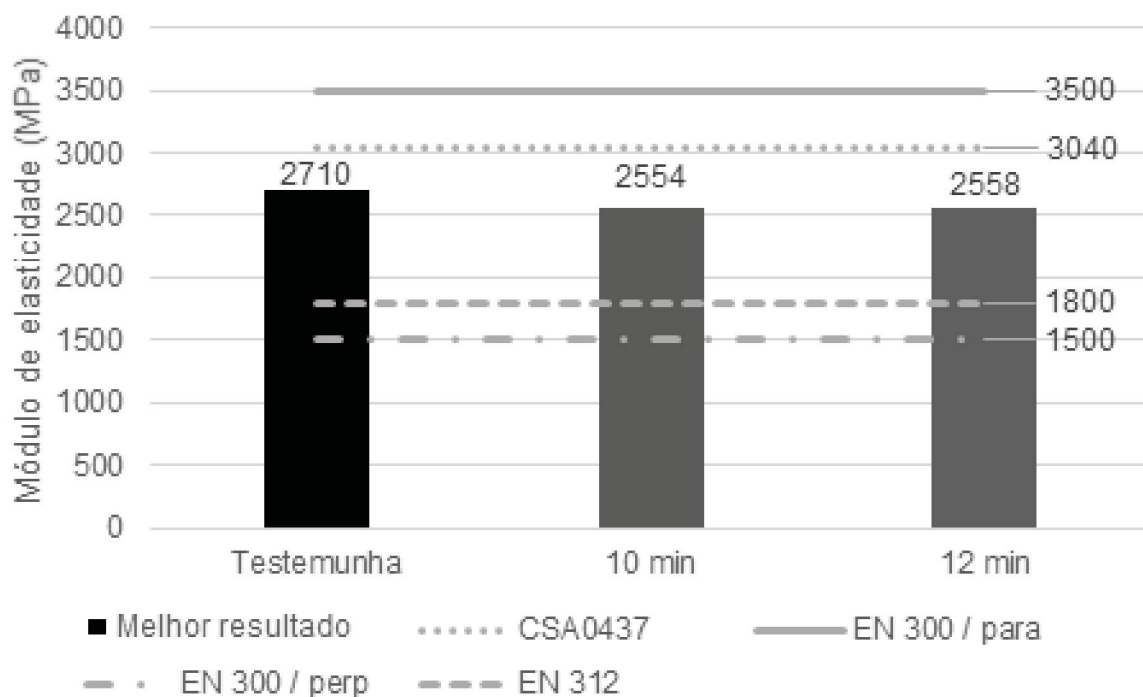
FONTE: O autor (2020).

Os valores médios variaram de 2554 MPa (12min) a 2710 MPa (Testemunha) para o módulo de elasticidade, de 19,50 MPa (10 min) a 22,69 MPa (Testemunha) para o módulo de ruptura e de 0,48 MPa (12 min) a 0,52 MPa (10 min) para a tração perpendicular à superfície.

Para as três propriedades mecânicas avaliadas, não foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre os painéis submetidos a diferentes tempos de modificação térmica e os painéis testemunhas.

O comparativo entre os valores médios de módulo de elasticidade dos painéis modificados termicamente com diferentes tempos de exposição e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 30:

GRÁFICO 30 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

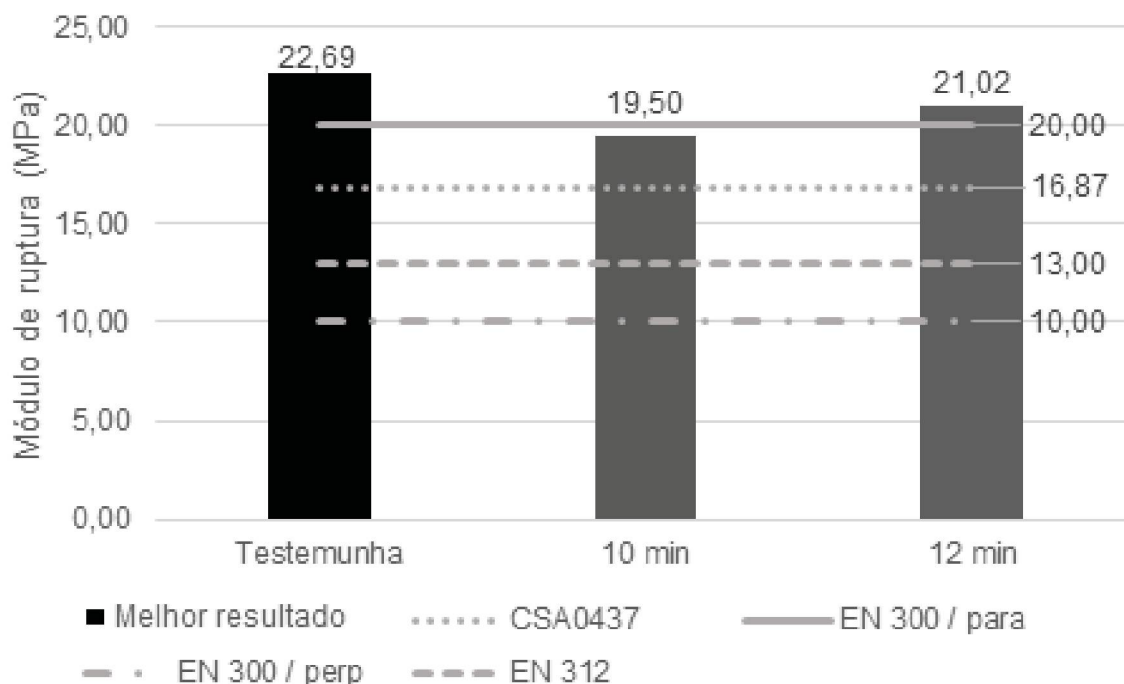


FONTE: O autor (2020).

Os painéis submetidos aos diferentes tempos de modificação térmica atingiram os valores mínimos de módulo de elasticidade recomendados pelas normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido perpendicular. Já em comparação com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo, nenhum tratamento obteve valores médios correspondentes aos valores estabelecidos.

O comparativo entre os valores médios de módulo de ruptura dos painéis submetidos à modificação térmica em diferentes tempos de exposição e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 31:

GRÁFICO 31 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM DIFERENTES TEMPOS DE EXPOSIÇÃO E OS REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

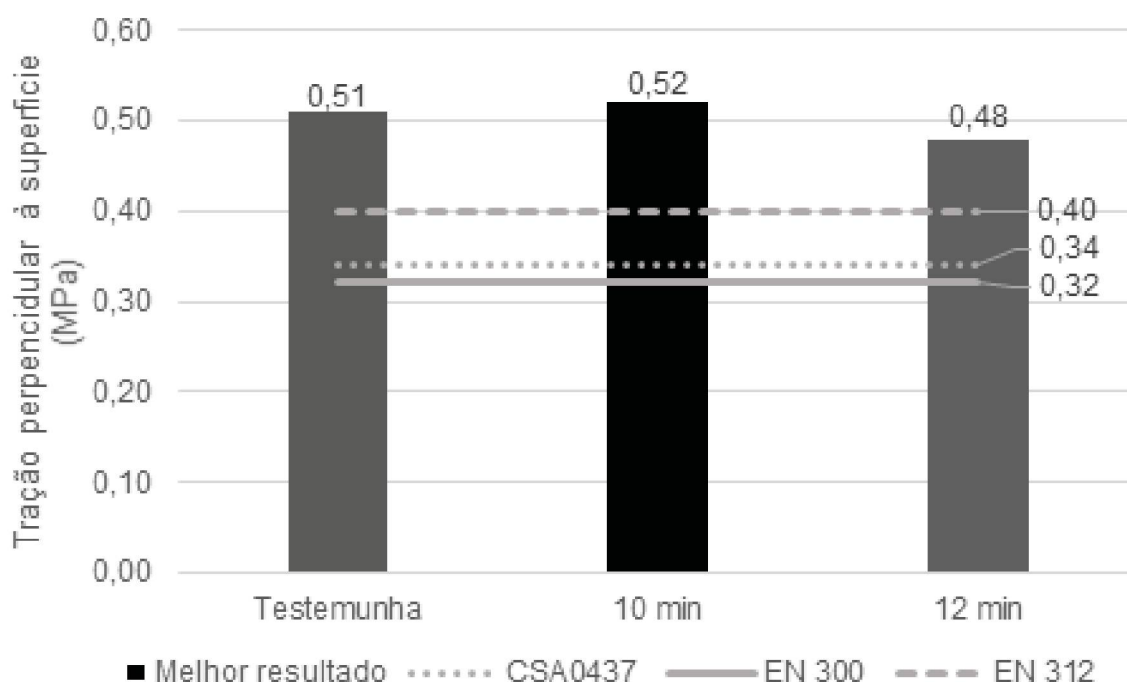


FONTE: O autor (2020).

Os painéis submetidos à modificação térmica em diferentes tempos de exposição atingiram os valores mínimos de módulo de ruptura em conformidade com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido perpendicular. Já em comparação com a EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo, apenas os painéis submetidos à modificação térmica durante 10 minutos apresentaram valores médios inferiores ao mínimo estabelecido.

O comparativo entre os valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis submetidos à modificação térmica em diferentes tempos de exposição e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 32:

GRÁFICO 32 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



FONTE: O autor (2020).

Os painéis submetidos à modificação térmica em diferentes tempos de exposição e os painéis testemunhas apresentaram valores de tração perpendicular à superfície em conformidade com as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

Na tabela 26, estão apresentados os valores das propriedades mecânicas dos painéis submetidos à modificação térmica com diferentes temperaturas:

TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Tratamento	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Testemunha	2704 a (17,92)	22,63 a (23,48)	0,52 a (20,35)
180°C	2419 a (21,16)	20,32 a (20,70)	0,52 a (16,19)
200°C	2753 a (24,10)	21,72 a (20,25)	0,48 a (14,12)
220°C	2499 a (23,02)	18,44 a (25,25)	0,51 a (17,70)

NOTA: Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação, em porcentagem, entre parênteses. MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

Para as diferentes temperaturas de modificação térmica, os valores médios variaram de 2499 MPa (220°C) a 2753 MPa (200°C) para o módulo de elasticidade, de 18,44 MPa (220°C) a 22,63 MPa (Testemunha) para o módulo de ruptura, e de 0,48 MPa (200°C) a 0,52 MPa (Testemunha/180°C) para a tração perpendicular à superfície.

Para todas as propriedades mecânicas avaliadas, não foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre as diferentes temperaturas de modificação térmica.

Em termos comparativos, os valores médios de módulo de elasticidade dos painéis mistos Aglo/OSB modificados termicamente foram maiores que os encontrados por Cunha et al. (2014) que, para aglomerados de *Eucalyptus benthamii*, obtiveram 2049,3 MPa.

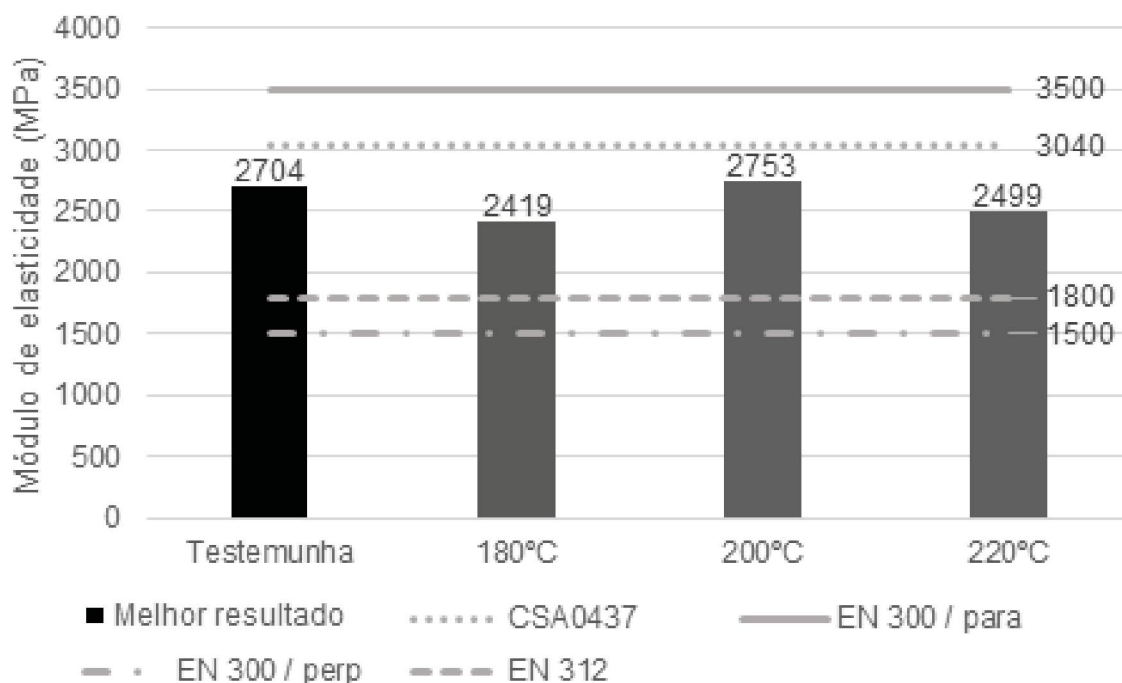
Em comparação com os resultados obtidos por Gorski et al. (2015), para painéis OSB de *Eucalyptus benthamii*, os valores médios obtidos para os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores menores que o encontrado para o sentido paralelo (4368 MPa) e maiores que os obtidos para o sentido perpendicular (1192 MPa).

Para o módulo de ruptura, os painéis mistos Aglo/OSB modificados termicamente apresentaram valores médios maiores que os encontrados por Rios et al. (2015) que, para painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*, obtiveram o valor médio de 15,4 MPa. Em comparação com os resultados apresentados por Gorski et al. (2015) para painéis OSB de *Eucalyptus benthamii*, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores menores que o obtido para o sentido paralelo (26,6 MPa) e maiores que os obtidos para o sentido perpendicular (15,3 MPa).

Para a tração perpendicular à superfície, os painéis mistos Aglo/OSB apresentaram valores médios semelhantes de Rios et al. (2015) que, para painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*, encontraram o valor médio de 0,54 MPa. Em comparação com OSB, os resultados dos painéis mistos Aglo/OSB foram semelhantes aos obtidos por Rosa et al., (2017) que, para painéis OSB de cinco espécies de *Eucalyptus*, encontraram os valores médios entre 0,45 MPa e 0,56 MPa.

O comparativo entre os valores médios de módulo de elasticidade dos painéis modificados termicamente com diferentes temperaturas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 33:

GRÁFICO 33 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

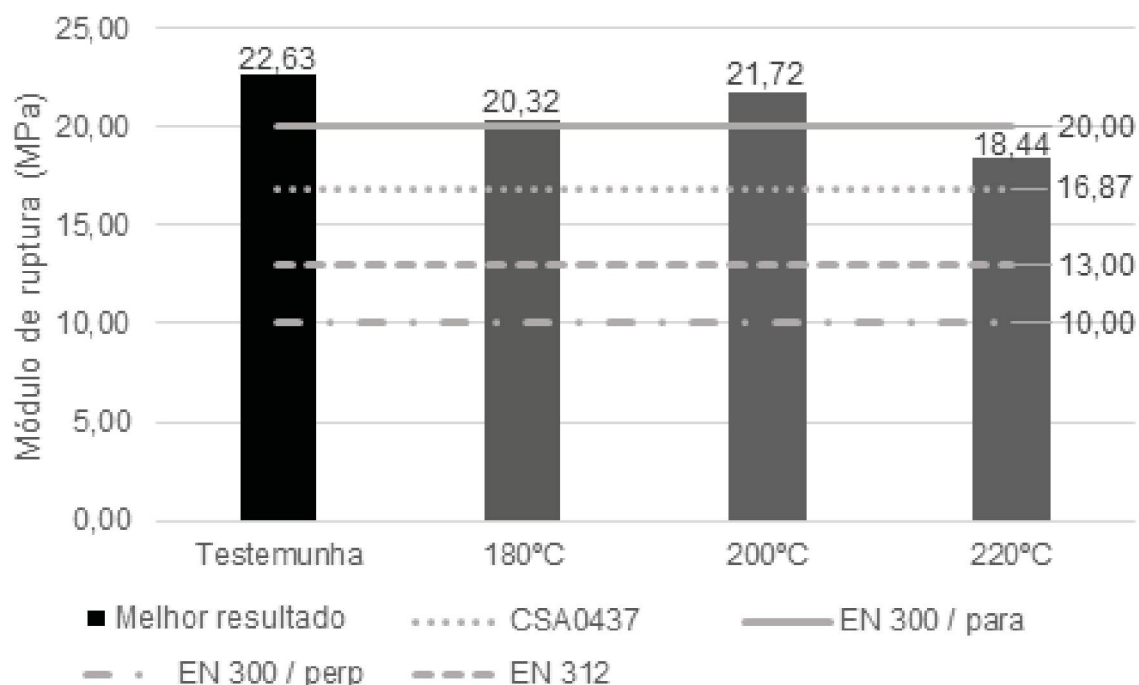


FONTE: O autor (2020).

Em relação aos requisitos normativos para o módulo de elasticidade, os painéis modificados termicamente com diferentes temperaturas apresentaram valores médios em conformidade com as normas EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido perpendicular e não atingiram os valores mínimos recomendados pelas normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993) e EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) para o sentido paralelo.

O comparativo entre os valores médios de módulo de ruptura dos painéis modificados termicamente com temperaturas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 34:

GRÁFICO 34 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À DIFERENTES TEMPERATURAS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS DAS NORMAS CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)

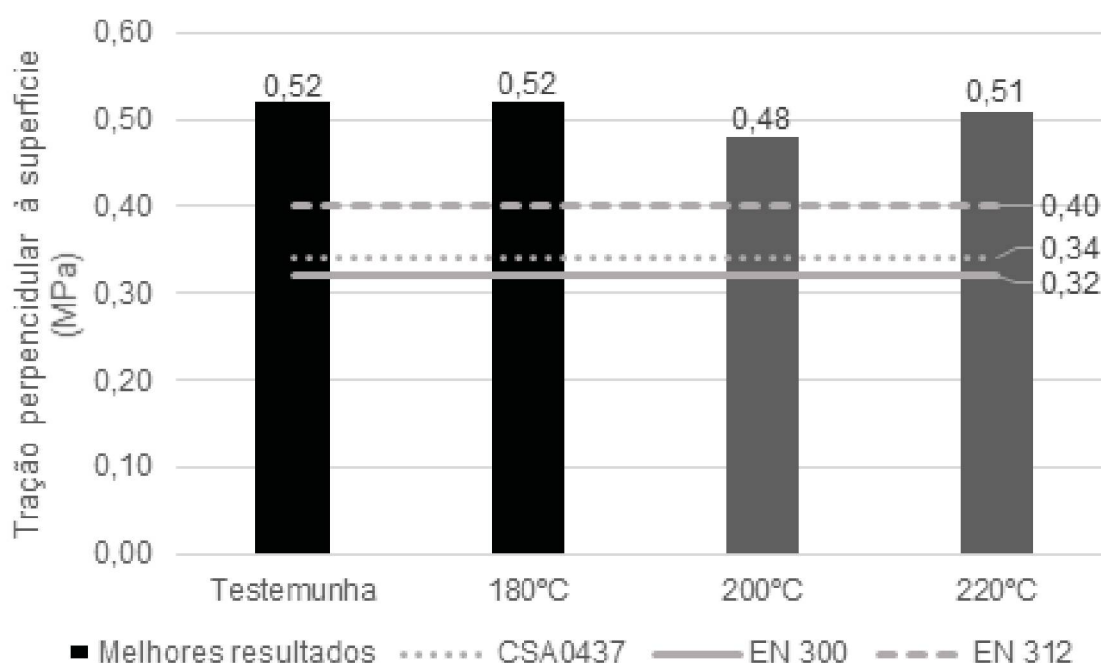


FONTE: O autor (2020).

Os painéis modificados termicamente com as três diferentes temperaturas atingiram os valores mínimos de módulo de ruptura estabelecidos pelas normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido paralelo e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003). Já em relação a norma EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) no sentido perpendicular, somente os painéis tratados a 220°C não atingiram os valores recomendados.

O comparativo entre os valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis modificados termicamente com diferentes temperaturas e as normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003) está apresentado no gráfico 35:

GRÁFICO 35 - COMPARATIVO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA E REQUISITOS NORMATIVOS DA CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) E EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003)



FONTE: O autor (2020).

Os painéis modificados termicamente com as três diferentes temperaturas e os testemunhas atingiram os valores mínimos de tração perpendicular à superfície estabelecidos pelas normas CSA 0437 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1993), EN 300 (EUROPEAN STANDARD, 2006) e EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

De forma geral, não foi constatada influência da modificação térmica sobre as propriedades mecânicas de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície dos painéis estudados.

Esse comportamento foi encontrado em outros estudos, como o de Mendes et al. (2013) para painéis de *Pinus* spp. submetidos à modificação térmica na temperatura de 220°C durante 12 minutos e o de Melo et al. (2018) para painéis aglomerados de *Eucalyptus* sp. submetidos à modificação térmica nas temperaturas de 160°C e 180°C durante 6 e 12 minutos.

4.4.3 Resumo da avaliação das propriedades dos painéis - modificação térmica

O resumo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis submetidos à modificação térmica está apresentado na tabela 27:

TABELA 27 - RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS SUBMETIDOS À MODIFICAÇÃO TÉRMICA

	Tratamento	MEA (g/cm ³)	RC	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
Tempo	10 minutos	0,713	1,41	14,01	39,31	5,15	12,32	2554	19,50	0,52
	12 minutos	0,713	1,41	12,53	37,28	5,50	12,64	2558	21,02	0,48
Tempe	180°C	0,716	1,42	12,84	36,84	5,32	13,12	2419	20,32	0,52
	200°C	0,720	1,43	13,95	38,20	6,13	13,71	2753	21,72	0,48
	220°C	0,701	1,39	12,97	39,04	5,93	11,13	2499	18,44	0,51
Test	Misto	0,717	1,42	13,93	46,15	5,16	14,69	2710	22,69	0,51
	Aglomerado	0,694	1,37	18,19	59,94	7,80	26,21	1924	16,69	0,40
	OSB/para OSB/perp	0,709	1,40	13,68	40,89	5,04	10,68	4713 2216	26,98 25,80	0,40 0,54
	Moslemi(1974)		1,30							
	CSA0437					08,00		3040	16,87	0,34
	EN 300/para						15,00	3500	20,00	0,32
	EN 300/perp							1500	10,00	
	EN 312							1800	13,00	0,40

NOTA: Test: Testemunhas, Tempo: Tempos de exposição; Tempe: Temperaturas; MEA: Massa específica aparente; RC: Razão de compactação; AA2h: absorção de água após 2 horas; AA24h: Absorção de água após 24 horas; IE2h: Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h: Inchamento em espessura em 24 horas, MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR: Módulo de ruptura à flexão estática; TP: Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2020).

Os resultados encontrados neste estudo demonstraram que a modificação térmica influenciou positivamente nas propriedades de estabilidade dimensional, sem comprometer as propriedades de resistência mecânica dos painéis Aglo/OSB. Cabe salientar que os painéis Aglo/OSB ainda apresentam como diferencial o melhor acabamento superficial resultante da utilização das partículas *slivers* nas camadas externas, além da maior uniformidade das propriedades nas direções paralela e perpendicular ao plano do painel, proporcionada pela disposição aleatória das partículas *strands* na camada interna.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

Massa específica básica

- As madeiras das duas espécies apresentaram valores de massa específica básica adequados para a produção de painéis de partículas de madeira;

Composições de camada

- A composição de painel com 10% de partículas do tipo *sliver* nas camadas externas e 80% de partículas do tipo *strand* na camada interna (10/80/10) foi a que apresentou os melhores resultados para todas as propriedades analisadas, com as médias estatisticamente semelhantes ou superiores às demais composições.
- A madeira de *Eucalyptus badjensis*, bem como sua utilização em conjunto com a madeira de *Pinus* spp. nas camadas externas, apresentam potencial para produção de painéis mistos Aglo/OSB, tendo em vista que atenderam aos requisitos normativos para a maioria das propriedades.

Modificação térmica

- A modificação térmica com os diferentes tempos estudados (10 minutos e 12 minutos) melhorou a estabilidade dimensional dos painéis Aglo/OSB, uma vez que ocasionou a redução nos valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 24 horas.
- A temperatura de 220°C foi a mais efetiva para a melhora da estabilidade dimensional dos painéis, especialmente para absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas de imersão.
- A modificação térmica, nas temperaturas e tempos de exposição utilizados, não influenciou as propriedades mecânicas dos painéis Aglo/OSB.

Gerais

- Em relação aos requisitos normativos, os painéis Aglo/OSB atingiram os valores recomendados para a maioria das propriedades, indicando o seu potencial para uso estrutural com cargas limitadas
- Os painéis Aglo/OSB apresentaram propriedades mecânicas intermediárias entre aglomerados e OSB, tendo como vantagens: melhor acabamento superficial, boa estabilidade dimensional e melhor balanço das propriedades de flexão estática (MOE e MOR) nas direções paralelas e perpendicular, indicando o seu potencial para uso estrutural com cargas limitadas.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o potencial de outras espécies de rápido crescimento para a produção de painéis Aglo/OSB.
- Analisar o efeito da utilização de partículas modificadas termicamente sobre os painéis Aglo/OSB.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14810 - 1** - Painéis de Partículas de Média Densidade - Parte 1 - Terminologia. 2010.
- ALBERTO, M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- ANTÔNIO, R. D. **Caracterização fitoquímica, morfoanatomia e atividades biológicas de *Eucalyptus badjensis* Beuzev e Welch, Myrtaceae**. 2011. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências farmacêuticas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- AKYUZ, K.C.; NEMLI, G.; BAHALOGLU, M.; ZEKOVIC, E. Effects of acidity of the particles and amount of hardener on the physical and mechanical properties of particleboard composite bonded with urea formaldehyde. **Int J Adhes Adhes**. v.30, p.166-169, 2010.
- ARAUJO, S. de O. **Propriedades de madeiras termorretrificadas**. 2010. 77f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.
- BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerado a base de bagaço de cana de açúcar e resinas ureia formaldeído e melamina-formaldeído**. 2009. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de materiais). REDEMAT. Ouro Preto, 2009.
- BASTOS, E. F. **Caracterização física e mecânica de painel de OSB do tipo FORM**. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Universidade Estadual de Campinas, , Campinas, 2009.
- BATISTA, D. C; TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. C. Efeito do tempo e da temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v.21, n.3, p. 533-540, 2011.
- BELINI, U. L. **Caracterização tecnológica de painéis de madeira de Eucalipto, *Eucalyptus grandis* e de bagaço do colmo de cana-de-açúcar, *Saccharum* sp.** 2012. 169f. Tese (Doutorado em Ciências) ESALQ - Piracicaba, 2012.
- BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida* spp.)**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Vicoso. 2009.

BLAZUS, A.; HORA, A.B.; LEITE, B.G. Panorama de Mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.32. p.49-90, 2010.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINING, M. W.; McDONALD, M. W. TURNER, J. D. **Forest Trees of Australia**. CSIRO. Melbourne, 687p. 1984.

BOONSTRA, M. J.; RIJSDIJK, J. F.; SANDER, C.; KEGEL, E.; TJEERDSMA, B.; MILITZ, J.; VAN ACKER, J.; STEVENS, M. Microstructural and physical aspects of heat-treated wood. **Maderas Ciencia y Tecnologia**. v.8, n.3, p. 193-208, 2006.

BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. Chemical analysis of treated softwoods. **Holz als Roh- und Werkstoff**. 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J.N. Propriedades de resistência e rigidez a flexão estática de painéis OSB e compensados. **Árvore**. Viçosa-MG, v.28, n.4, p.563-570, 2004.

BUONGIORNO, J. B.; OLIVEIRA, R. A. International diffusion of technological change within the wood products industry: The case of particleboard. **Western J. Agr. Econ.** 1977.

BRITO, J. O., SILVA, F. G., LEÃO, M. M., ALMEIDA, G. Chemical composition changes in *Eucalyptus* and *Pinus* woods submitted to heat treatment. **Bioresources technology**. New York. v.99, 2006.

BRITO, F. M. S.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Thermal modification of sugarcane waste and bamboo particles for manufacture of particleboards. **Árvore**. v.43, n.1. 2019.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. M. L.; Propriedades de painéis tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. **Árvore**. v30, n.4, p. 659-667. 2006.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and Waferboard**. CSA 0437.0 - 93. Ontário: 1993. 18p.

CARLL, C. **Wood particleboard and flakeboard: Types, grades, and uses**. **Madison**, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 1986. 9 p.

CARVALHO, A. G.; MENDES, R. F.; OLIVEIRA, S. F.; MENDES, L. M. Effect of post-production heat treatment on particleboard from Sugarcane bagasse. **Materials Research**. V.18, n.1. 2015.

CELE J.; SWAIN, T. *Eucalyptus badjensis*; a potential alternative to temperate commercial eucalypts with selection and breeding. **ICFR**. 2016.

CHIPANSKI, E. R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 2006. 193p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CHIROMITO, E. M. S.; DE CAMPOS, C. I.; FERREIRA, B. S.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Propriedades mecânicas de painéis produzidos com lascas de madeira em três diferentes comprimentos. **Scientia Forestalis**. v.44, n.109. 2016.

ÇOLAK, S.; NEMLI, G.; DEMIRKIR, I.A.; AYDIN, I.; DEMIREL, S. Utilization potential of waste for window joints for particleboards. **Journal of Composite Materials**, v. 45, n.1. Los Angeles, 2011.

CROITORU, C.; SPIRCHEZ, C.; LUNGULEASA, A.; CRISTEA, A.; ROATA, I. C.; POP, M. A.; BEDO, T.; STANCIU, E. M.; PASCU, A. Surface proprieties of termally treated composite wood panels. **Applied Surface Science**. v.418, p. 114-126. 2018.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**. v.42, n. 102. 2015.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 226p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2004.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.; SOUZA, M. R.; Avaliação não-destrutiva de painéis OSB modificados termicamente: parte 1 - efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão. **Scientia Forestalis**. n.76, p. 67-75. 2007.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.; OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SANTANA, M. A. E. Thermal modification of consolidated oriented strandboards: effects on dimensional stability, mechanical properties, chemical composition and surface color. **European Journal of Wood Products**. V.67, p. 383-393. 2009.

DISCOVER LIFE. *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch. Disponível em: <<http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Eucalyptus+badjensis>> Acesso: 23/08/2017.

EISFELD, C. L. **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira: compensado, MDF e OSB no estado do Paraná**. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009

EISFELD, E. L.; BERGER, R. Análise das estruturas de mercado das industrias de painéis de madeira (Compensado, MDF e OSB) no estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 21 - 34, 2012.

ELIAS, R.; IRLE, M. A. The Acidity of Stored Sitka Spruce Chips. **Holz als Roh-und Werkstoff**. v.54. n. 1, p. 65-68, 1996.

EUROPEAN STANDARD. **EN 300**. Oriented Strand Boards (OSB): definitions, classification and specifications. Brussels, 2006.

EUROPEAN STANDARD. **EN 310**. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Brussels, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 312**. Particleboards - Specifications. Brussels, 2003.

EUROPEAN STANDARD. **EN 317**. Determination of swelling in thickness after immersion in water, Brussels, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 319**. Determination of internal bond. Brussels, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 323**. Determination of density. Brussels, 1993.

FAGG, M. **Atlas of living Australia - *Eucalyptus badjensis***. Disponível em: <<http://biocache.ala.org.au/occurrences/b7535648-8f3d-4d0f-8d0c-7528e76a3203>> Acesso: 23/08/2017.

FERREIRA, E. B. **Caracterização física de painel OSB do tipo FORM**. Dissertação (Mestrado em Estruturas) 2009. 131p. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP. 2009.

FERREIRA, L. Decoração com OSB. Disponível em: <<http://blogdaarquitetura.com/decorar-com-osb-pode-sim>>. Acesso: 03 ago. 2017.

FERRO, F. S.; SOUZA, A. M.; ARAÚJO, I. I.; ALMEIDA, M. M. V. D. N.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Effect of alternative wood species and first thinning wood on Oriented strand board performance. **Advances in Materials Science and Engineering**. 2018.

FIGORELLI, J.; SORIANO, J.; LAHR, F. A. R. Roof modular system in wood and particle board (OSB) to rural construction. **Scientia agricola**. Piracicaba. v.69, n.3, p. 189-193. 2012.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v.9, n.4, p; 157-174. 2009.

FRANÇA, M. C. **Produção de painéis aglomerados de fibras Oversize de uma indústria de MDF**. 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC. 2015.

GEIMER, R.L. Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry. USDA-Forest Service, **Research Paper FPL 275**, Madison.1976.

GORSKI, L.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D.; TRIANOSKI, R.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; LONGO, B. L. Utilização da madeira de *Eucalyptus benthamii* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 865-874, jul. 2015.

GOUVEIA, F. N.; SANTANA, M. A.; SOUZA, M. R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas. **Árvore**. v. 24, n. 1, p. 7-12, 2000.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES, B. M. R.; MELO, R. R. Efeito do teor de parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Ciência da madeira**. Pelotas. v.4, v.1, p 72-82. 2013.

H'NG, P. S.; LEE, S. H.; LUM, W. C.; Effect of post heat treatment on dimensional stability of UF bonded particleboard. **Asian Journal of Applied Science**. v.5, n.5, p. 299-306. 2012.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; ALVES, E. C. Comportamento de progênies de *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch em dois locais da Região Sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 45, 2002.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeira de Pinus, Eucalipto e Acácia-negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. The influence of particle composition in a three-layer particleboard on its physical and mechanical properties. **Journal of Forest Science**, v. 49, n. 2, p. 83-93, 2003.

IWAKIRI, S. **A influência das variáveis do processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAC, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agrária**. v.1, n.1-2, p.23-28, 2000.

IWAKIRI, S.; MENDES, L.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. S. Utilização da madeira de Eucaliptos na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, 2004.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI, S. Opiniões Sobre o Setor de Florestas Plantadas - História, evolução, tecnologia e perspectivas. **Revista Opiniões**. Set - Nov, 2012.

IWAKIRI S.; POTULSKI, D. C.; SANCHES, F. G.; SILVA, J. B.; TRIANOSKI, R.; PRETKO, W. V. Avaliação do potencial de uso da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevillea robusta*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata* para a produção de painéis OSB. **Cerne**. Lavras, v. 20. n. 2. p. 277-284. 2014.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M.K.O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**. Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2015.

JANKOWSKI, I. V. **Colagem de madeiras**. Universidade de São Paulo. 45p. 1988.
KELLY, M. W. A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards. U.S. For. **General Technical Report FPL-10**, 1977, 66p.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. **Principles of wood science and technology II. Wood based materials**, 703p. Nova Iorque, 1975.

KLOCK, U.; de ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 85p. 2013.

LEE, S. H.; LUM, W. C.; ZAIDON, A.; FATIN-RUZANNA, J. MARIUSZ, M.; CHIN, K. L. Effect of post-thermal treatment on the density profile of rubberwood particleboard and its relation to mechanical properties. **Journal of Tropical Forest Science**. v. 29, n.1. p-93-104, 2017.

MACEDO, L. B.; AQUINO, V. B. M.; WOLENSKI, A. R. V.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; Painéis híbridos de lâminas e partículas de madeira para uso estrutural. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v. 19, n. 3, p. 15-23, 2019.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing**. 2. ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993.

MALONEY, T. M. The Family of wood composite materials. **Forest Products Journal**. v.46, n.2, p.19-26, 1996.

MANTERO, C.; FERNÁNDEZ, V.; ROZ, A. Anatomía, peso específico aparente de la madera y porcentaje de corteza en orígenes de dos especies de Eucalyptus cultivadas em Uruguay (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch). **Agrociencia**. Montevideu. v.22, n.1, p 20-30, 2008.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. Principles and practice. New York, Van Nostrand Reinhold, 1992, 453p.

MARZBANI, P.; AFROUZI, Y.M.; OMIDVAR, A.. The effect of nano-zinc oxide on particleboard decay resistance. **Maderas Ciencia y Tecnologia**. v.17, n.1, p.63-68. 2015.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.de; SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p.121-126, 2011.

MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR.; SALDANHA, L. K. Efeito da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e ambiente**. Seropédica. v. 10, n.1, p.01-17, 2003.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; TRUJILHO, P. F.; Utilização de resinas alternativas na confecção de painéis do tipo OSB de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, 2007.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba. 2010.

MENDES, R. F.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; DE ALMEIDA, N. F.; SURDI, P. G.; BARBEIRO, I. N. Effect of thermal treatment on proprieties of OSB panels. **Wood Science and Tecnology**. v, 47, n 2, p. 243-256, 2013.

MENEZES, W. N.; SANTINI, E. J.; DE SOUZA, J. L.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.44, n.6, p.1019-1024, jun, 2014.

MELO, R. R.; MUHL, M.; STANGERLIN, D. M.; ALFENAS, R. F.; RODOLFO JÚNIOR, F. Properties of particleboards submitted to heat treatments. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.28, n.2, p. 776-783, 2018.

MIRSKI, R.; DZIURKA, D. Applicability of strand substitution in the of OSB. **BioResources**. v.6, n.3. 2011.

MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; HASELEIN, C. R. Efeito da termoretificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**. v.27, n.1, Santa Maria, 2017.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Efeito da termoretificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 69-76, mar. 2011.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University, 1974. 244p.

MUJIU, L.; ARNOLD, R.; BOHAI, L.; MINSHENG, Y. Selection of cold-tolerant eucalypts for Hunan province. In: TURNBULL, J. W. (Ed.). **Eucalyptus in Asia**. In: Proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China, 7-11 April 2003. Canberra: ACIAR, 2003. p.107-116. (ACIAR Proceedings, 111).

NATUS, G. Comparison of pressing systems. In: Proceedings of 3rd International Wood Academy, Hamburgo, 2008.

NUOPPONEN, M.; VUORINEN, T.; JAMSA, S.; VIITANIEMI, P. Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies. **Journal of Wood Chemistry and Technology**. v.24, n.1. p. 13-26 2005.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SANTANA, M. A. E.; DA SILVA, C. B. G.; TOMAZ, R. B.; DE SOUZA, M. E. Uso das madeiras de Seringueira, Pinus e Cipreste na fabricação de chapas OSB. **Floresta**. V.39, n.2, p. 457-468. 2009.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A.; Eucaliptos indicados para o plantio no Paraná. **Boletim técnico Embrapa**. Colombo PR, 2006.

PAN, Z.; ZHENG, Y.; ZHANG, R.; JENKINS, B. M. Physical proprieties of thin particleboard made from saline eucalyptus. **Industrial crops and products**. v.26, p.185-194. 2007.

PENFOLD, A. R. **The eucalyptus: botany, cultivation, chemistry and utilization**. London: Leonardo Hill, 1961.

PEREIRA, F. A. **Propriedades de painéis tipo OSB fabricados com flocos de Eucalyptus grandis tratados termicamente**. 2013. 82p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa. 2013.

PEREIRA, G. F. **Potencial da madeira de Eucalyptus badjensis para a produção de painéis aglomerados**. 2016. 211 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages-SC. 2016.

PEREIRA, G. F.; RIOS, P. D. A.; BUSS, R.; VIEIRA, H. C.; GRUBERT, W.; CUNHA, A. B.; BELINI, U. L. Painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp. **Scientia Forestalis**. v.45, n.114, p. 373-382, 2017.

PEREIRA, L.; CELIANA, K.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, O.; CÁSSIA, A. Características anatômicas e químicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**. v.13, n.2, p.123-129. 2007;

PRESTEMON, F. P.; WEAR, D. N.; FOSTER, M. O. **The global position of the U.S. forest products industry**. Forest Service, 2015.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 284 p.

PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**. Vancouver, v. 1, n. 40, p. 647-663, 2006.

REPELLIN, V.; GUYONNET, R. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. **Holzforschung**. v. 59, n. 1, p. 28-34, 2005.

RIOS, P. D.; VIEIRA, H. C.; STUPP, A. M.; KNISS, D. D. C.; BORBA, M. H.; CUNHA, A. B.; Avaliação física e mecânica de painéis reconstituídos compostos por partículas de galhos secos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 283-289, jun. 2015.

ROSA, T. S. **Utilização de cinco espécies de Eucalyptus provenientes de plantios de curta rotação para a produção de painéis particulados**. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, 2015.

ROSA, T. S.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G. M.; SOUZA, H. P. Utilização de cinco espécies de *Eucalyptus* para a produção de OSB. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 24, 2017.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. 2004. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda*. **Floresta**. Curitiba, v. 39, n.3, p. 572-576, 2009.

SBA - STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. **OSB Rendimientos preconcebidos: Tableros OSB em la construcción con amazones de madera**. Ontario, 2006. 26 p

SETTE, JR. C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e da posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**. v.36, n.6, 2012.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A.; BOND, B. Changes in chemical composition and decay resistance of termally-modified *Hevea brasiliensis* wood. **Plos one**. San Francisco. v.11, n.3, 2016.

SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S.; GUIMARÃES, JÚNIOR, J. B.; GUIMARÃES NETO, R. N. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de origem industrial e laboratorial. **Scientia plena**. v.8, n.4, 2012.

STAMM, A. J. Thermal degradation of wood and celulose. **Industrial and Engineering Chemistry**. Madison. v.31, n.9, p 43-52, 1982.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. **Wood handbook : wood as an engineering material**. General technical report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. **Wood-Based Panel an Introduction for Specialists**. Brunel University Press, Londres, 2010.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para a produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.39, n.89, p. 97-104, 2011.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; CHIES, D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis de partículas orientadas. **Scientia Forestalis**. v.44, n.110, 2016.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 1991. 494 p.

UNSAL, Ö.; CANDAN, Z.; BÜYÜKSARI, Ü.; KORKUT, S.; BABIAK, M. Effects of thermal modification on surface characteristics of OSB panels. **Wood Research**. v.55, n.4, p:51-58. 2010.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 111p. Dissertação (Magister in Forestry), University of Wisconsin, Madison - WI, 1973.

WEBER, C.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de compensados, MDF, MDP para a produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 405-413, 2015.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites and panel products. In: **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Gen. Tech. Rept. FPL-GRT-113. USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab, Madison, WI, p: 1-31. 1999.

ZANG, Y.; JIN, J.; WANG, S. Effects os resin and wax on the water uptake behavior wood strands. **Wood and fiber science**. v. 39, n.2, 2007.

ZERBE, J.; CAI, Z.; HARPOLE, G. B. An evolutionary history of oriented strandboard (OSB). **General Technical Report FPL-GTR-236**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2015. 6 p

APÊNDICE - CÁLCULOS PARA A PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

1. Painéis aglomerados testemunhas

Camada única = Massa específica 0,700 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por painel = Massa específica/ dimensões do painel \Rightarrow 0,700 x 2995,2 = **2096,64 g**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 2096,64 g

100% - x \Rightarrow 1761,88 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 105,71 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 17,61 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 211, 42 (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

\Rightarrow 1761,88 x (1 + 4/100)

\Rightarrow **1832,35 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (adesivo líquido.)} & - & 53,0 \text{ g (sólidos)} \\ x & - & 105,71 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{199,45 \text{ g}}$$

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (emulsão de parafina)} & - & 58,0 \text{ g (Sólidos)} \\ x & - & 17,61 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{30,37 \text{ g}}$$

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

$$\mathbf{\text{Um painel} = (1832,36 + 199,46 + 30,38) = 2062,19 \text{ g}}$$

2. Painéis OSB testemunhas - Composição 20/60/20

Massa específica 0,700 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por painel = Massa específica/ dimensões do painel \Rightarrow 0,700 x 2995,2 = **2096,64 g.**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 2096,64 g

100% - x \Rightarrow 1761,88 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 105,71 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 17,61 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 211,42 (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

\Rightarrow 1761,88 x (1 + 4/100)

\Rightarrow **1832,35 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (adesivo líquido.)} & - & 53,0 \text{ g (sólidos)} \\ x & - & 105,71 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{199,45 \text{ g}}$$

e) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (emulsão de parafina)} & - & 58,0 \text{ g (Sólidos)} \\ x & - & 17,61 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{30,37 \text{ g}}$$

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

$$\text{Um painel} = (1832,36 + 199,46 + 30,38) = 2062,19 \text{ g}$$

$$\text{Camadas externas: } 2062,19 * 20\% = 412,44 \text{ g}$$

$$\text{Camada interna: } 2062,19 * 60\% = 1237,32 \text{ g}$$

3. Painéis mistos Aglo/OSB 10/80/10 - Camadas externas = Massa específica 0,900 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por camada =

Massa específica/ dimensões do painel/ percentual de camada \Rightarrow

0,900 x 2995,2 x 0,2 (20%) = **539,13 g.**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 539,13 g

100% - x \Rightarrow 453,05 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 27,18 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 4,53 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 54,37 (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

\Rightarrow 453,05 x (1 + 4/100)

\Rightarrow **417,18 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (adesivo líquido.)} & - & 53,0 \text{ g (sólidos)} \\ x & - & 27,18 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{51,28 \text{ g}}$$

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (emulsão de parafina)} & - & 58,0 \text{ g (sólidos)} \\ x & - & 4,53 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{10,06 \text{ g}}$$

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

$$\mathbf{\text{Por camada} = (471,18 + 51,29 + 10,07) = 532,53 \text{ g}}$$

4. Painéis mistos Aglo/OSB 10/80/10 - Camada interna = Massa específica 0,700 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por camada =

Massa específica/ dimensões do painel/ percentual de camada

$\Rightarrow 0,700 \times 2995,2 \times 0,8$ (80%) = **1677,31 g**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 1677,31 g

100% - x \Rightarrow 1409,51 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 84,57 g(adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 14,09 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 169,14 g (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

$\Rightarrow 1409,51 \times (1 + 4/100)$

\Rightarrow **1465,88 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (adesivo líquido.)} & - & 53,0 \text{ g (Sólidos)} \\ x & - & 84,57 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{159,33 \text{ g}}$$

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ g (emulsão de parafina)} & - & 58,0 \text{ g (Sólidos)} \\ x & - & 14,09 \text{ g (sólidos)} \end{array}$$

$$x = \mathbf{31,32 \text{ g}}$$

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

$$\mathbf{\text{Por camada} = 1465,89 \text{ g} + 159,87 \text{ g} + 31,32 \text{ g} = 1656,78 \text{ g}}$$

5. Painéis mistos Aglo/OSB 15/70/15 - Camadas externas / Massa específica 0,900 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por camada =

Massa específica/ dimensões do painel/ percentual de camada

$\Rightarrow 0,700 \times 2995,2 \times 0,3$ (30%) = **1467,48 g**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 1467,48 g

100% - x \Rightarrow 1233,32 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 74,00 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 12,33 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 148,00 g (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

$\Rightarrow 1233,32 \times (1 + 4/100)$

\Rightarrow **1282,65 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

100 g (adesivo líquido.) - 53,0 g (Sólidos)

x - 74,00 g (sólidos)

x = **139,62 g**

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

100 g (emulsão de parafina) - 58,0 g (Sólidos)

x - 12,33 g (sólidos)

x = **21,26 g**

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

Por camada = 1282,65 g + 139,62 g + 21,26 g = 1656,78 g

6. Painéis mistos Aglo/OSB 15/70/15 - Camada interna / Massa específica 0,700 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por camada =

Massa específica/ dimensões do painel/ percentual de camada

$\Rightarrow 0,700 \times 2995,2 \times 0,7$ (70%) = **1467,48 g**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 1467,48 g

100% - x \Rightarrow 1233,32 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 74,00 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 12,33 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 148,00 g (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

$\Rightarrow 1233,32 \times (1 + 4/100)$

\Rightarrow **1282,65 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

100 g (adesivo líquido.) - 53,0 g (Sólidos)

x - 74,00 g (sólidos)

x = **139,62 g**

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

100 g (emulsão de parafina) - 58,0 g (Sólidos)

x - 12,33 g (sólidos)

x = **21,26 g**

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

Por camada = 1282,65 g + 139,62 g + 21,26 g = 1443,54 g

7. Painéis mistos Aglo/OSB 20/60/20 - Camadas externas / Massa específica 0,900 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por camada =

Massa específica/ dimensões do painel/ percentual de camada

$\Rightarrow 0,900 \times 2995,2 \times 0,4$ (40%) = **1078,27 g**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 1078,27 g

100% - x \Rightarrow 906,11 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 54,37 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 9,06 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 108,74 g (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

$\Rightarrow 906,11 \times (1 + 4/100)$

\Rightarrow **942,35 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

100 g (adesivo líquido.) - 53,0 g (Sólidos)

x - 54,37 g (sólidos)

x = **102,57 g**

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

100 g (emulsão de parafina) - 58,0 g (Sólidos)

x - 9,06 g (sólidos)

x = **15,62 g**

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

Por camada = 942,36 g + 102,58 g + 15,62 g = 1060,56 g

8. Painéis mistos Aglo/OSB 20/60/20 - Camada interna / Massa específica 0,700 g/cm³

Dimensões do painel: 48 x 48 x 1,3 cm \Rightarrow volume = 2995,2 cm³

Determinar: massa específica do painel \Rightarrow umidade = 12%

Quantidade de massa por camada =

Massa específica/ dimensões do painel/ percentual de camada

$\Rightarrow 0,900 \times 2995,2 \times 0,6$ (60%) = **1057,98 g**

a) Constituição do painel:

100% partículas secas

6% Adesivo

1% Parafina

12% água

119% - 1257,98 g

100% - x \Rightarrow 1057,13 g (partículas secas)

6% - y \Rightarrow 63,42 g (adesivo líquido)

1% - z \Rightarrow 10,57 g (emulsão de parafina)

12% - a \Rightarrow 126,85 g (água)

b) Quantidade de partículas úmidas / painel > TU = 4%

Partículas úmidas = Partículas secas x (1 + Teor de umidade/100)

$\Rightarrow 1057,13 \times (1 + 4/100)$

\Rightarrow **1099,41 g (partículas úmidas)**

c) Quantidade de adesivo líquido

Teor de sólidos \Rightarrow 53%

100 g (adesivo líquido.) - 53,0 g (Sólidos)

x - 63,43 g (sólidos)

x = **119,67 g**

d) Quantidade de emulsão de parafina

Teor de sólidos \Rightarrow 58%

100 g (emulsão de parafina) - 58,0 g (Sólidos)

x - 9,06 g (sólidos)

x = **15,62 g**

***Quantidade material =**

(Partículas úmidas + Adesivo líquido + Emulsão de parafina)

Por camada = 1099,91 g + 119,68 g + 18,23 g = 1237,32 g